

Université de Montréal

**Le visage de la douleur;  
Informations efficientes pour la reconnaissance  
et impacts sur l'observateur**

par  
Cynthia Roy

Département de psychologie  
Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Ph.D  
en Psychologie  
option neuropsychologie clinique

Avril 2012

© Cynthia Roy, 2012



Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Cette thèse intitulée :

Le visage de la douleur;  
Informations efficaces pour la reconnaissance  
et impacts sur l'observateur

présentée par :  
Cynthia Roy

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Martin Arguin, président-rapporteur  
Frédéric Gosselin, directeur de recherche  
Pierre Rainville, co-directeur  
Daniel Fiset, co-directeur  
Hugo Théorêt, membre du jury  
Pierre Gosselin, examinateur externe  
Vincent Rousseau, représentant du doyen de la FES





## Résumé

L'expression faciale de la douleur occupe un rôle central dans la communication de la douleur et dans l'estimation de l'intensité de la douleur vécue par autrui. Les propriétés du visage d'une personne en souffrance ont été investiguées principalement à l'aide de méthodes descriptives (e.g. FACS). L'introduction fait le point sur les connaissances de l'expression faciale de douleur et de la communication de cette expérience sur les plans comportemental et cérébral et souligne que les mécanismes et stratégies visuels utilisés par l'observateur pour parvenir à détecter la douleur dans le visage d'autrui demeurent très peu connus. L'étude des processus impliqués dans la reconnaissance de l'expression de la douleur est essentielle pour comprendre la communication de la douleur et éventuellement expliquer des phénomènes ayant des impacts cliniques considérables, tel que l'effet classique de sous-estimation de la douleur d'autrui. L'article 1 vise à établir à l'aide d'une méthode directe (*Bubbles*) les informations visuelles utilisées efficacement par l'observateur lorsqu'il doit catégoriser la douleur parmi les émotions de base. Les résultats montrent que parmi l'ensemble des caractéristiques du visage typique de la douleur, peu d'informations sont vraiment efficaces pour parvenir à cette discrimination et que celles qui le sont encodent la partie affective-motivationnelle de l'expérience d'autrui. L'article 2 investigate le

pouvoir de ces régions privilégiées du visage de la douleur dans la modulation d'une expérience nociceptive chez l'observateur afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués dans une telle modulation. En effet, s'il est connu que des stimuli ayant une valence émotionnelle négative, y compris des expressions faciales de douleur, peuvent augmenter les réponses spinales (réflexes) et supra-spinales (ex. : perceptives) de la douleur, l'information visuelle suffisante pour permettre l'activation des voies modulatrices demeure inconnue. Les résultats montrent qu'en voyant les régions diagnostiques pour la reconnaissance de l'expression faciale de douleur, la douleur perçue par l'observateur suite à une stimulation nociceptive est plus grande que lorsqu'il voit les régions les moins corrélées avec une bonne reconnaissance de la douleur. L'exploration post-expérimentale des caractéristiques de nos stimuli suggère que cette modulation n'est pas explicable par l'induction d'un état émotionnel négatif, appuyant ainsi un rôle prépondérant de la communication de la douleur dans la modulation vicariante de l'expérience douloureuse de l'observateur. Les mesures spinales ne sont toutefois pas modulées par ces manipulations et suggèrent ainsi que ce ne sont pas des voies cérébro-spinale qui sont impliquées dans ce phénomène. *Mots-clés :*

expression faciale, douleur, émotions de base, *Bubbles*, modulation, information diagnostique, réflexe nociceptif, modèle bio-psycho-social de la douleur.

## **Abstract**

Facial expression plays a central role in pain communication including when judging on others' pain intensity. Facial expression characteristics have been investigated mainly with descriptive methods (e.g. FACS). The thesis introduction summarizes current knowledge on behavioral and cerebral processes involved in pain facial expression and pain communication. Moreover, a better understanding of the processes subtending the recognition of pain in others appears essential to address clinical issues such as the classical under-estimation effect. The article 1 uses a direct method (*Bubbles*) to identify the visual information efficiently used by the observer to correctly discriminate pain among basic emotions facial expressions. Results show that, among all the facial movement typically found in pain facial expressions, the observers use few information. Moreover, the visual regions highly correlated with correct identification of pain have previously been described as encoding the affective-motivational of the pain experience of the sufferer. It is known that the pain experience can be increased by visual stimuli with a negative affective valence, including pain facial expressions, through spinal and supra-spinal (perceptual) processes. The article 2 aims to study if the facial regions important for pain identification are sufficient to modulate the observer's pain

experience. Results showed that looking at the diagnostic visual information for pain identification enhanced the perception of pain) of the observer when compared to viewing regions not correlated with correct identification. A post-experimental exploration of the characteristics of our stimuli suggests that this effect is not attributable to an induction of negative emotions, thereby supporting a predominant role for pain communication in the vicarious facilitation of pain in the observer. However, spinal measures were not modulated by our visual stimuli, suggesting that the neural system underlying the modulation does not involve cerebro-spinal processes.

*Key Words:* facial expression, pain, basic emotions, *Bubbles*, modulation, diagnostic information, nociceptive reflex, biopsychocial model of pain communication.

## Table des matières

<b>RÉSUMÉ.....</b>	<b>V</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>XIII</b>
<b>ABBRÉVIATIONS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>XV</b>
 <b>CHAPITRE 1: INTRODUCTION GÉNÉRALE .....</b>	 <b>1</b>
1.1. LA DOULEUR      3	
1.1.1. <i>Propriétés de la douleur .....</i>	<i>4</i>
1.1.2. <i>Modulation de la douleur .....</i>	<i>8</i>
1.2. COMMUNICATION DE LA DOULEUR      13	
1.2.1. <i>Communiquer et détecter la douleur.....</i>	<i>14</i>
1.2.2. <i>Modèle biopsychosocial de la communication de la douleur 17</i>	
1.2.3. <i>Sous-estimation de la douleur.....</i>	<i>19</i>
1.2.4. <i>Exactitude dans la discrimination d'émotions.....</i>	<i>22</i>
1.2.5. <i>Expressions faciales et émotions de base .....</i>	<i>23</i>
1.2.6. <i>Expression faciale de douleur.....</i>	<i>29</i>
1.3. LIENS ENTRE COMMUNICATION ET MODULATION DE LA DOULEUR      34	
1.4. RÉSUMÉ ET OBJECTIFS      35	
1.4.1. <i>Article 1.....</i>	<i>36</i>
1.4.2. <i>Article 2.....</i>	<i>37</i>

**CHAPITRE 2: ARTICLE 1.....39**

EFFICIENT INFORMATION FOR RECOGNIZING PAIN IN FACIAL EXPRESSIONS 40

**CHAPITRE 3: ARTICLE 2..... 71**

A REFINED EXAMINATION OF THE FACIAL CUES CONTRIBUTING TO VICARIOUS  
EFFECTS ON SELF-PAIN AND SPINAL RESPONSES 72

**CHAPITRE 4: DISCUSSION GÉNÉRALE ..... 109**

4.1 RAPPEL DES OBJECTIFS ET DES RÉSULTATS 110

4.1.1 *Article 1..... 110*

4.1.2 *Article 2..... 114*

4.2 IMPLICATIONS THÉORIQUES 115

4.2.1 *Communication de la douleur : perspective de  
l'observateur-décodeur ..... 115*

4.2.2 *Modulation de la douleur de l'observateur par l'expression  
faciale de douleur..... 128*

4.2.3 *Liens avec les données d'imagerie cérébrale  
antérieures 131*

4.3 IMPLICATIONS CLINIQUES 133

4.4 LIMITES ET PERSPECTIVES FUTURES GÉNÉRALES 134

## Liste des figures

### CHAPITRE 1- Introduction

Figure 1. Schéma des mécanismes de modulation central de la douleur .....	9
Figure 2 Modèle biopsychosocial de communication de la douleur.....	19

### CHAPITRE 2- Article1

Figure 1. Stimuli création.....	63
Figure 2. Classification images of pain for human and ideal observers.....	64

### CHAPITRE 3- Article 2

Figure 1. Diagnostic information for the recognition of static facial expression of pain.....	100
Figure 2. Illustration of the creation of the stimuli.....	101
Figure 3. A trial example.....	102
Figure 4. Mean subjective ratings and NFR.....	103

## **Liste des tableaux**

### **CHAPITRE 2- Article 1**

Table 1. Confusability matrix.....	62
------------------------------------	----

### **CHAPITRE 3- Article 2**

Table 1. Mean Z-scores of valence and arousal .....	99
---	----



## **Abbreviations**

CCA: cortex cingulaire antérieur

NFR : nociceptive flexion reflex

RIII: réflexe nociceptif

S1: cortex somatosensoriel primaire

S2: cortex somatosensoriel secondaire

La douleur qui se tait n'en est que plus funeste.

Jean Racine

## Remerciements

Merci

A Frédéric et à Pierre de m'avoir permis de tracer un pont entre vos stimulantes expertises. Frédéric, merci pour les opportunités de recherche et de m'avoir laissé voir grand. Merci aussi pour la liberté que tu m'as accordée. Stimulante, formatrice et parfois vertigineuse, j'y ai trouvé un espace pour développer et apprivoiser ma pensée scientifique. Pierre, merci pour la rigueur formatrice que tu as exigée de moi. Merci aussi pour ta capacité de contemplation, d'étonnement, ta passion et tes interventions à la fois minutieuses et stratégiques.

À Daniel. Pour le guide que tu as été dans cette aventure. Que ce soit sur le plan académique, clinique ou personnel, ta présence m'a été inestimable. Tu as su habilement doser encouragements et exigences, amitié et professionnalisme, humour et sérieux. Merci d'avoir cru en moi et d'avoir toujours exigé et suscité le meilleur de moi pour les petites et grandes étapes inhérentes à ce cheminement. Sans ton humour, ta douceur, tes lumières, ton amitié et tes pouvoirs magiques, je n'y serais pas arrivé.

À Caroline. Pour la collègue incroyablement persévérante et mobilisatrice que tu as été du début à la fin des différents projets,

fructueux ou non, que nous avons menés ensemble. Sans toi, cette thèse ne serait pas. Ta vivacité, ton intelligence et ton importante et soutenue implication ont contribué à l'ensemble de cette thèse. Mais surtout, merci pour la précieuse amie que tu es devenue.

Aux membres du labo, et plus particulièrement, Catherine, Karine, Nicolas, Sylvain et Isabelle. Nicolas, chercher du signal dans les nuages avec toi aura été un déclencheur dans la poursuite de mes études doctorales. Vous avez tous été une famille et un pilier dans ce parcours. Vous m'avez donné un espace pour être bien, pour être drôle, pour rêver, pour grandir. À vous tous, pour nos folies, discussions et impérissables amitiés, merci.

À mes amis. Chacun d'entre vous, à votre façon, vous m'avez divertie, inspirée, encouragée. Entre tous, j'ai une pensée spéciale pour Pascale. Karine. Donald. Isabelle. Tommy. Jérôme. Jade. Un merci appuyé à Roxane, qui sait mieux que quiconque trouver les mots justes et mentaliser quand je ne sais plus comment.

À ma famille, les Petitclerc inclus. Dans ce duel entre persévérance parfois acharnée et hédonie, vous aurez été mon équilibre. Plus particulièrement, merci à mes parents. Votre présence a adouci cette

traversée ; sans vous je n'y serais pas arrivée. Merci d'avoir été là pour fêter les réussites comme pour m'aider à absorber les échecs. Juges absolument partiaux, merci d'avoir toujours cru en moi pour ce défi comme pour tous les autres.

Finalement, à Marc. Ta patience, ta sagesse et l'estime que tu m'accordes me reflètent chaque jour la profondeur de ton amour. Ta présence, ta foi en mes aptitudes, ton humour et tes recettes, auront été de puissants motivateurs dans la réalisation de ce projet. C'est avec fébrilité que je réalise qu'après les maintes concessions qu'ont nécessitées nos réalisations respectives, c'est maintenant notre printemps.



# **CHAPITRE 1**

## **Introduction générale**

Un enfant excité court et trébuche. Il se relève du sol, regarde ses mains, essuie le gravier pour constater les dégâts, puis, se retourne vers sa mère. Le visage de l'enfant est incertain; à mi-chemin entre douleur et désir de poursuivre son exploration. Ensuite, soit la mère lui sourit en l'incitant implicitement à continuer à jouer. Alors, l'enfant reprend ses activités et oublie l'incident; ses mains meurtries ne limitant aucunement son plaisir. Ou encore, la mère trahit son inquiétude en affichant un visage de peur ou laissant échapper une intonation anxieuse dans sa voix. L'enfant se met alors à pleurer et sa douleur s'exacerbe soudainement. D'une part, cette scène suggère l'aspect central de la communication non-verbale des émotions et son impact majeur dans l'ajustement de nos comportements (Chambers, Craig et al. 2002; Claar, Simons et al. 2008; Goubert, Vervoort et al. 2009). D'autre part, elle illustre que la douleur ressentie et exprimée est multidéterminée; elle peut être modulée par différents facteurs, notamment émotionnels. Certains de ces facteurs sont vraisemblablement en jeu également chez l'adulte (Hadjistavropoulos, Craig et al. 2011).

La présente introduction comprend trois volets. D'abord, une définition de la douleur sera proposée et soulignera ses



composantes sensorielles et affectives. Les facteurs capables de moduler la douleur seront présentés, en abordant plus spécifiquement la modulation émotionnelle. Dans une seconde partie, les facteurs permettant la communication de la douleur seront détaillés; d'abord au plan comportemental, puis au plan cérébral. Finalement, la dernière section relèvera les appuis suggérant que la communication de la douleur et l'expérience subjective de douleur sont interreliées.

### **1.1.La douleur**

La douleur est définie selon l'I.A.S.P (*International Association for the Study of Pain*) comme « *An unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage or described in terms of such damage* » (Merskey et Bogduk, 1994). La douleur est toujours subjective et ne peut être directement observée. Chaque individu en apprend la signification à travers des blessures subies au cours de son développement. Vivre la douleur est essentielle pour la survie. Elle permet d'identifier et ainsi d'éventuellement fuir ou éviter les situations qui menacent l'intégrité du corps (Williams 2002). De plus, ressentir la douleur (e.g. inflammatoire) favorise la guérison d'une blessure en limitant les mouvements du membre touché (Cox, Reimann et al. 2006).

L'absence de sensations nociceptives, par exemple chez des patients atteints d'insensibilité congénitale à la douleur, entraîne inévitablement des blessures potentiellement graves qui seront négligées par le patient, non signalées à son entourage, et par conséquent non traitées, diminuant considérablement la longévité (Nagasako, Oaklander et al. 2003).

### ***1.1.1. Propriétés de la douleur***

On reconnaît classiquement à l'expérience de douleur une composante sensorielle et une composante affective (Melzack and Wall 1965; Price 2000; Price 2002). La première réfère aux caractéristiques sensorielles de l'expérience, soient la qualité, l'intensité et la localisation associées au stimulus nociceptif (Rainville, Carrier et al. 1999). Au niveau cérébral, plusieurs évidences suggèrent que ce sont les cortex somatosensoriels primaire (S1) et secondaire (S2) qui ont une contribution prépondérante dans le traitement de l'aspect sensoriel de l'expérience nociceptive (voir Peyron, Laurent et al. 2000). Notamment, l'activation de ces régions est souvent contralatérale par rapport au stimulus nociceptif (Bingel, Quante et al. 2003) et ces régions partagent de nombreuses connections avec d'autres régions responsables de l'encodage d'informations de nature

sensorielles (Rainville, Duncan et al. 1997; Price 2000). L'étude lésionnelle de Ploner, Freund et al. (1999) représente quant à elle un argument direct quant au rôle central de ces régions dans le traitement de l'information sensorielle. L'étude rapporte qu'un homme dont le cortex sensoriel (S1 et S2) droit a été lésé suite à un accident vasculaire cérébral ne ressent plus les aspects sensoriels de la douleur du côté gauche de son corps. En effet, le patient est incapable de décrire la qualité, la location, ou l'intensité de la sensation. Toutefois, il affirme spontanément trouver déplaisante la sensation au niveau du membre stimulé, ce qui suggère que la dimension aversive (affective) de l'expérience semble au moins partiellement préservée.

La composante affective de la douleur concerne le caractère désagréable propre à toute expérience nociceptive. Le traitement de l'aspect affectif de la douleur relèverait davantage du système limbique, principalement du cortex cingulaire antérieur (CCA) et de l'insula (Rainville, Duncan et al. 1997; Rainville, Carrier et al. 1999; Tolle, Kaufmann et al. 1999). Hofbauer, Rainville et al. (2001) ainsi que Rainville, Duncan et al. (1997) ont démontré une double dissociation de l'activation entre certaines des régions traitant l'aspect sensoriel de la douleur et celles traitant de l'aspect affectif lorsqu'on manipule l'intensité ou le désagrément perçus via

l'hypnose. La modulation de l'intensité perçue a engendré une modification de l'activité en S1 (augmentation de l'intensité entraînant une augmentation de l'activité cérébrale) alors que la modulation de la composante affective isolément était accompagnée d'une modification de l'activité au niveau du CCA (augmentation du désagrément perçu entraînant une augmentation de l'activité cérébrale).

Le modèle de Melzack proposant une distinction nette entre les portions affective et sensorielle de la douleur tend toutefois à être nuancée par de récentes données. Par exemple, il existe des projections directes entre la moelle épinière et l'insula suggérant que cette région classiquement associée au traitement affectif de la douleur reçoit de l'information non traitée sur les aspects sensoriels de la stimulation nociceptive (Dum, Levinthal et al. 2009). Ainsi, la vision émergente dans ce débat tend à reconnaître un rôle prépondérant à S1 et S2 dans le traitement de l'information sensorielle et à l'insula et le CCA notamment dans le traitement de nature affective, sans toutefois acquiescer à l'idée d'une dichotomie franche entre les deux traitements.

D'autres structures s'ajoutent à la matrice neuronale activée lors d'une stimulation douloureuse (Peyron, Laurent et al. 2000; Apkarian, Bushnell et al. 2005; Tracey and Mantyh 2007). Notamment, le thalamus aurait un rôle général lié à l'état de vigilance (Peyron, Garcia-Larrea et al. 1999). Le cortex préfrontal serait quant à lui impliqué dans l'évaluation cognitive du stimulus et la planification de l'évitement (Strigo, Duncan et al. 2003). La complexité de l'expérience émotionnelle relève de l'implication et de l'interaction entre ces diverses régions dans le traitement de l'information nociceptive qui provient de la moelle épinière.

Cette notion même de matrice cérébrale comme caractéristique de l'expérience de douleur est par ailleurs remise en question par Legrain, Iannetti et al. (2011). Legrain suggère que l'activation conjointe de ces régions n'est pas spécifique au traitement d'un stimulus nociceptif mais qu'elle représenterait plutôt le traitement d'un stimulus sensoriel saillant pour lequel une action immédiate doit être programmée. Ceci ne remet évidemment pas en question l'implication de ces régions dans l'expérience de la douleur et sa régulation, mais suggère que ce réseau soit très sensible de façon non spécifique à la douleur. La spécificité neurophysiologique liée à l'expérience de la douleur pourrait se trouver au niveau des populations neuronales plus spécifiquement

activées à l'intérieur des régions qui reçoivent le signal nociceptif via la voie spino-thalamo-corticale (voir Dum et al., 2009).

### ***1.1.2. Modulation de la douleur***

Il existe des mécanismes descendants du traitement de l'information nociceptive; la figure 1 représente les principaux (voir Villanueva et Bourgeais, 2008 pour une description détaillée). La voie descendante principale trouve ses origines dans les régions corticales. De façon simplifiée, cette voie cortico-spinale voyage de l'hypothalamus, l'amygdale et du cortex cingulaire antérieur rostral, en passant par la substance grise péraqueducule et la formation réticulée bulbaire avant d'atteindre les cornes dorsales de la moelle épinière (Ossipov, Dussor et al. 2010). L'activation de cette voie descendante modifie la perception du signal nociceptif en interagissant avec le signal ascendant spino-cérébral. Melzack et Wall (Melzack and Wall 1965) ont été des pionniers dans la modélisation de cette interaction avec la *Théorie du Portillon*. Cette théorie suggère qu'une "barrière" contrôle la quantité de signal qui évolue du système nerveux périphérique vers le système nerveux central. Ces auteurs suggéraient déjà à l'époque que cette barrière pouvait être contrôlée par un signal descendant.

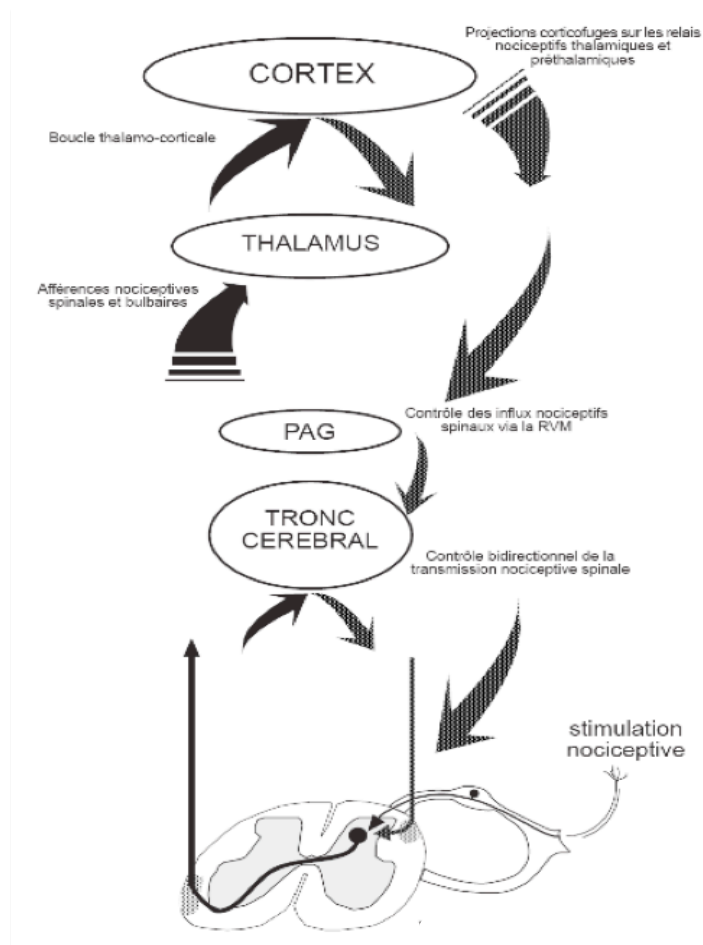


Figure 1. Tirée de Villanueva et Bourgeais, 2008. « Schéma des principaux mécanismes de modulation central de la douleur ». La stimulation nociceptive active la transmission ascendante du signal. Parallèlement, différentes voies descendantes modulent le traitement de l'information nociceptive. La principale et celle d'intérêt dans le présent document est celle qui origine du cortex pour cheminer vers le thalamus, la substance grise péri-aqueducale (ici PAG), le tronc cérébral et finalement, vers la moelle épinière.

Différents agents pharmacologiques et facteurs psychologiques peuvent activer cette voie modulatoire et ainsi, augmenter ou diminuer la perception d'un signal nociceptif, égal par ailleurs. L'attention, la distraction, l'anticipation et les émotions sont tous des facteurs ayant la capacité d'influencer significativement

l'expérience de douleur (pour un recensement, voir Rhudy and Meagher 2001). Pour illustrer l'importance clinique de cette modulation, il a été démontré que l'ampleur de l'effet inhibiteur peut parfois être comparable avec celui engendré par l'injection de morphine (Morin, Duncan et al. 1999).

La modulation induite par des manipulations attentionnelles agirait davantage sur l'évaluation sensorielle de la douleur, alors que des modifications de l'état émotionnel influencerait davantage l'évaluation affective du signal nociceptif suggérant une relative indépendance des deux processus modulateurs (Villemure, Slotnick et al. 2003; Villemure and Bushnell 2009). Ainsi, d'un point de vue méthodologique, il est d'usage d'investiguer la perception du sujet en douleur à l'aide de deux échelles distinctes: l'une objectivant la perception de l'intensité de la sensation douloureuse (aspect sensoriel), l'autre objectivant l'expérience désagréable de la douleur (aspect affectif).

#### *Modulation émotionnelle.*

L'expérience émotionnelle agit sur les systèmes de motivation appétitive et aversive. Ainsi, devant un stimulus potentiellement aversif (e.g. serpent, aiguille, etc.), l'ensemble du



système défensif est activé et entraîne une série de réflexes et de comportements de protection. À l'opposé, devant un objet attrayant et potentiellement important pour la survie (nourriture, personne chère), les comportements de rapprochements sont enclenchés. L'amorçage de ces systèmes opposés est à la base de nos mécanismes motivationnels. C'est par le biais de ce système que les émotions influenceraient la perception de la douleur selon la théorie de Lang: *the motivational priming theory* (Lang, 1995).

Appuyant cette théorie, plusieurs études ont démontré que le fait de voir des images à valence négative (e.g. attaques, mutilations, etc.) immédiatement avant une stimulation douloureuse augmente la perception de la douleur, alors que voir des images à valence positive (e.g. scènes érotiques, bébés, etc.) inhibe la sensation de douleur (pour un recensement, voir Rhudy et Meagher 2001).

En plus de ces effets sur le traitement supraspinal de la douleur, les émotions influencent aussi le traitement spinal de l'information nociceptive. L'équipe de Rhudy (Rhudy, Williams et al. 2005) a démontré que le fait de manipuler l'état émotionnel de participants auxquels on administre de la douleur change non seulement leur jugement subjectif de la douleur, mais aussi leurs

réactions physiologiques d'origine spinale pour des stimulations d'intensité égale. Ces résultats ont été parmi les premiers à appuyer empiriquement l'idée que l'effet modulateur des émotions s'étend tout au long de l'axe neural. Cette étude a utilisé le réflexe nociceptif de retrait, appelé RIII, comme mesure de la nociception au niveau de la moelle épinière. Il est provoqué par la stimulation du nerf sural qui active les fibres nociceptrices A $\delta$  et C qui activeront ensuite les circuits spinaux et les motoneurones impliqués dans la flexion du membre ipsilatéral. Ce signal engendre une réaction de retrait avant d'être acheminé au cerveau. Ce retrait peut être mesurée électromyographiquement au niveau du biceps fémoral qui se contracte (Willer 1977). L'intensité de la stimulation nécessaire pour provoquer le réflexe est corrélée avec le seuil de douleur du sujet et l'amplitude de la réponse réflexe est proportionnelle à l'intensité de la stimulation (Chan and Dallaire 1989). Le RIII représente donc une mesure du traitement au niveau spinal. En utilisant cette mesure, l'étude de Rhudy et ses collègues a démontré que des images à valence négative ont un effet facilitateur sur le signal nociceptif spinal par rapport à des images neutres (i.e. le fait de visionner des images à caractère négatif engendre un RIII de plus grande amplitude).

## 1.2. Communication de la douleur

*« When once compassion is stirred within me by another's pain, then his weal and woe go straight to my heart, exactly in the same way, if not always to the same degree, as otherwise I feel only my own. Consequently the difference between myself and him is no longer an absolute one. » Arthur Schopenhauer, On the Basis of Morality (1841).*

Schopenhauer saisit dans cette courte observation la complexité de la perception de la douleur d'autrui. Pouvons-nous vraiment former, l'instant d'une seconde, une seule entité avec l'être en douleur tel que le décrit Schopenhauer ? Pour arriver à comprendre la souffrance d'un tiers, lisons-nous sa douleur comme si nous vivions réellement l'expérience ? Le *paradoxe de sympathie* (Morrison, Lloyd et al. 2004) expose la question ainsi : si l'information qui nous est disponible par rapport à l'expérience d'autrui relève de la troisième personne, comment se fait-il que cette expérience soit vécue de façon internalisée (à la première personne) ? Mais d'abord, outre cette question du « comment » s'impose celle du « pourquoi ». Dans quel but avons-nous développer des mécanismes nous permettant de communiquer notre douleur et, réciproquement, décoder la douleur vécue par autrui ?

### ***1.2.1. Communiquer et détecter la douleur : Pourquoi ? Comment ?***

Pour la personne en souffrance, communiquer efficacement sa douleur permet d'obtenir un support social diminuant la détresse ou procurant une aide physique immédiate. Pour celui qui observe la douleur d'autrui, arriver à décoder sa souffrance possède des avantages variés (Craig 2004). Le principal est certainement son rôle d'indicateur de danger. En effet, similairement à la peur, la douleur d'autrui indique un danger potentiel ou réel dans l'environnement immédiat. Par ailleurs, en situation de confrontation, détecter la douleur d'autrui permet de tirer avantage de cette faiblesse, alors que mettre à jour sa vulnérabilité, quoique risqué, est une façon d'entamer une négociation ou le retrait (Williams 2002). Dans un contexte d'affiliation sociale, répondre à la détresse d'autrui serait gage de liens solidifiés, avantage net pour la survie.

La communication de la douleur aurait aussi un impact sur le traitement même de l'information nociceptive. L'effet de la perception de la douleur d'autrui sur notre propre expérience de douleur a notamment été étudiée auprès d'animaux (Langford, Crager et al. 2006). Ces auteurs démontrent notamment que la

présence d'une souris familière augmente la sensibilité et les comportements de douleur émis par la souris en douleur et que cet effet est bidirectionnel (i.e. effet similaire pour la souris observatrice). Cet effet est absent si la souris présente est non familière. Les auteurs proposent que ces résultats appuient l'idée que le traitement de la douleur est dépendant de facteurs environnementaux et sociaux (voir Langford, Crager et al. 2006) pour une discussion). La présence de cette modulation de la douleur via la communication de cette expérience chez les animaux est un indice supplémentaire quant à l'importance évolutive de ce processus communicatif.

Différents indices ayant une valeur informative sont émis par la personne souffrante. Les plaintes verbales, les vocalisations, l'expression faciale, la posture reflétant les limitations physiques, l'évitement et la protection du membre blessé représentent des indices sur la nature, l'intensité et la localisation de la douleur vécue par autrui. En plus de ces canaux de communication, l'observateur peut se référer aux connaissances sémantiques qu'il possède sur la douleur. En effet, il a aussi accès à ses propres expériences sur les situations potentiellement douloureuses à partir desquelles il peut extrapoler le vécu subjectif d'autrui. Ainsi, afin d'arriver à un état de compréhension, et éventuellement de

compassion, tel que le suggère Schopenhauer, plusieurs sources d'informations lui sont intelligibles. Par ailleurs, toutes n'ont pas la même valeur aux yeux de l'observateur. En effet, il est connu qu'afin de juger de la douleur d'autrui, l'observateur humain accorde une importance particulière aux comportements non-verbaux de la personne souffrante (Poole et Craig 1992). En effet, il semble que nous soyons peu enclins à utiliser l'évaluation explicite d'autrui pour juger de la douleur qu'il ressent. La littérature suggère que, parmi ces divers moyens non-verbaux, c'est l'information transmise par le visage que nous utilisons principalement pour juger de la douleur vécue par autrui (Poole et Craig 1992).

Danziger et ses collègues (Danziger, Prkachin et al. 2006) ont rapporté que lorsque l'on demande à des patients souffrant d'insensibilité congénitale à la douleur de juger de la douleur ressentie par une autre personne avec comme indice l'expression faciale, ils sont aussi justes que les sujets contrôles dans leur estimation. Toutefois, lorsqu'ils ont uniquement accès aux vidéos d'individus dans une situation douloureuse (e.g. chute sur le dos suite à un saut raté) sans avoir accès aux réactions de la personne en souffrance (i.e. expression faciale ou autre), le recours aux connaissances sémantiques de ces patients ne suffit pas pour qu'ils

évaluent justement la douleur probablement ressentie par l'individu. Avant de détailler ce que nous savons de l'expression faciale de douleur, continuons d'explorer les propriétés comportementales de la communication de cet état.

### ***1.2.2. Modèle biopsychosocial de la communication de la douleur***

La figure 2 illustre le modèle de douleur proposé par Hadjistavropoulos, Craig et al. (2011). Ce modèle reconnaît l'importance de l'aspect physique de la douleur, mais met l'emphase sur les aspects sociaux et psychologiques qui influencent cette expérience et la façon dont celle-ci sera exprimée, proposant ainsi une compréhension globale et indépendante du contexte dans lequel l'échange a lieu. Sommairement, les auteurs suggèrent trois étapes au processus de communication de la douleur, soient l'expérience interne, l'expression de cette expérience et le décodage de cette expression par un observateur. L'expérience interne réfère aux composantes comportementales, affectives, cognitives et motivationnelles de la sensation douloureuse. Déjà à ce stade, le modèle stipule que plusieurs déterminants autres que biologiques (i.e. sociaux, culturels, etc.) ont un impact sur cette expérience. Puis, le souffrant exprime de façon accessible son expérience à un

agent décodeur externe (seconde étape) de communication. Deux canaux sont utilisés : les modalités verbales et non-verbales. Hadjistavropoulos et Craig (2002) ont suggéré que le canal verbal (auto-évaluation de la douleur par exemple) est davantage influencé par les processus cognitifs de haut niveau, alors que le canal non-verbal (e.g. expression faciale) est davantage le reflet de processus automatiques. En plus du background global dans lequel la communication a lieu (illustré en gris), la clarté de l'expression du souffrant influencera la troisième et dernière étape du modèle : le décodage. Cette étape comprend une portion interactive (i.e. le fait de partager l'information minimalement en dyade) et une portion transactionnelle qui implique que cette transaction peut aussi avoir des conséquences sur le souffrant (e.g. diminution de sa douleur suite à la réponse de support de l'agent décodeur). C'est aussi dans cette portion transactionnelle que l'on considère qu'il peut y avoir interprétation correcte ou erronée du signal émis par le souffrant.



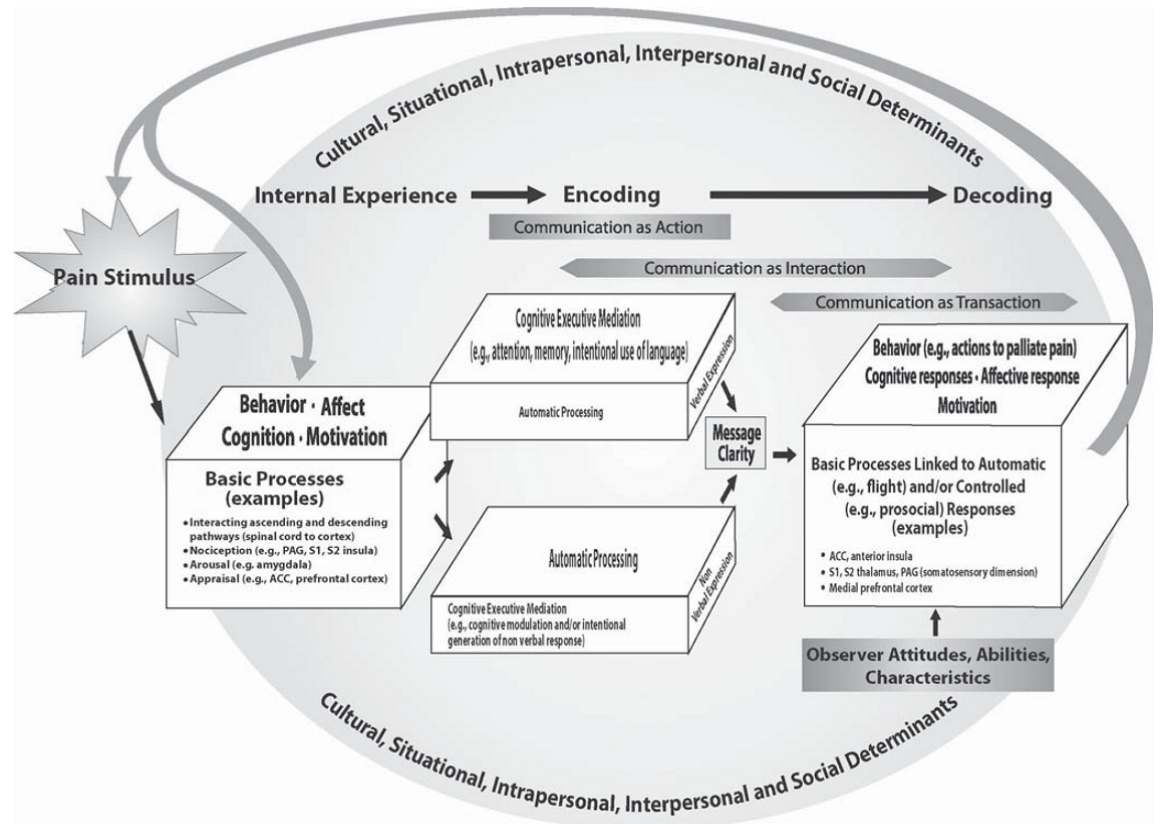


Figure 2. Modèle de communication de la douleur tirée de (Hadjistavropoulos, Craig et al. 2011).

### 1.2.3. Sous-estimation de la douleur

L'efficacité de l'observateur à décoder le signal transmis par la personne souffrante s'établit sur la base de la correspondance entre le jugement de l'observateur et celui du souffrant. La précision de l'observateur-évaluateur a été étudiée auprès d'une variété de populations en douleur, notamment les adultes normaux (Saarela, Hlushchuk et al. 2006), les enfants normaux (Goodenough, Addicoat et al. 1997; Breau, McGrath et al. 2001; Larochette, Chambers et al. 2006; Hesselgard, Larsson et al. 2007), les enfants ou adultes avec déficience intellectuelle (LaChapelle, Hadjistavropoulos et al. 1999; Voepel-Lewis, Malviya et al. 2005) et les personnes âgées atteintes de démence. La grande majorité de

ces études comportementales ont été réalisées dans un contexte propice à l'expérience de douleur (post-chirurgie, vaccination, maladies, etc). L'évaluation de l'observateur est généralement inférieure à la douleur réellement ressentie par la personne concernée (Drayer, Henderson et al. 1999; Marquie, Raufaste et al. 2003). Résultant probablement d'un biais systématique (Harrison 1993), ce phénomène de sous-estimation a de lourdes conséquences au plan clinique (Thomas, Borczuk et al. 1999). Une sous-estimation de la souffrance est en effet synonyme de sous-médication, donc de soulagement partiel. Une majorité d'études effectuées dans ce domaine a porté sur des populations de médecins ou d'infirmières étant donné l'accessibilité de la population et la pertinence clinique du phénomène. Plusieurs études ont démontré l'écart considérable entre l'évaluation des médecins ou infirmières par rapport à l'évaluation du patient (Drayer, Henderson et al. 1999; Marquie, Raufaste et al. 2003). Plusieurs études ont d'abord tenté de comprendre si certains traits ou facteurs personnels expliquent ou modulent la sous-estimation. D'après des études dans une population d'infirmières, ni l'âge, ni la satisfaction au travail, ni l'éducation, ni le domaine de pratique, ni le statut de travail, ni le type d'hôpital ne semblent expliquer ou influencer la sous-estimation de la douleur (Solomon 2001). Cet écart entre les deux

évaluations serait d'autant plus important si le professionnel qui évalue a plus d'expérience (Marquie, Raufaste et al. 2003), suggérant une certaine désensibilisation ou habitude à la douleur d'autrui. Kappesser démontre l'ampleur du phénomène (Kappesser, Williams et al. 2006) en affirmant que les professionnels qui doivent porter leur jugement sans avoir accès à l'autoévaluation de la douleur du patient sous-estiment autant sa douleur que si on les pousse à soupçonner une exagération volontaire de la part du patient. Les résultats de l'étude de Prkachin, Mass et al. (2004) suggèrent que même les individus non professionnels sont sujets à l'habitude.

L'ensemble de ces données suggère que, lorsqu'on lui demande d'estimer la douleur vécue par autrui, l'humain présente un biais de sous-estimation lorsque comparé au rapport du souffrant. Ainsi, en dépit de plusieurs canaux d'information disponibles pour inférer l'expérience d'autrui, notre appréciation de l'expérience subjective d'autrui paraît systématiquement influencée à la baisse par des facteurs encore largement méconnus.

#### ***1.2.4. Exactitude dans la discrimination d'émotions***

Un autre pan de la recherche sur l'expression faciale de douleur exige plutôt des observateurs d'identifier l'émotion ressentie chez autrui parmi plusieurs possibilités. Ce type de devis expérimental permet de considérer le degré de confusion entre des émotions données. Kappesser et Williams (2002) rapportent que, lorsqu'il est demandé à des professionnels de la santé d'identifier l'émotion vécue par des sujets (photos), la douleur est reconnue au-delà du hasard, mais qu'elle est aussi parfois confondue avec la peur, la colère ou le dégoût. La douleur semble être davantage propice à des confusions que les autres émotions négatives. Lorsqu'on permet aux participants d'aller au-delà de la catégorisation simple en leur permettant de juger librement de la quantité de chacune des émotions présentes dans une même expression faciale, on constate que l'expression de douleur est celle pour laquelle les observateurs rapportent la plus grande proportion d'autres émotions. Parmi les six émotions de base, la douleur et la neutralité; les observateurs jugent souvent que l'expression de douleur comprend aussi notamment de la tristesse et du dégoût (Roy, S. et al., en révision; annexe 1).

### ***1.2.5. Expressions faciales et émotions de base***

Savoir interpréter l'information visuelle présente dans les visages représente une capacité adaptative essentielle. Avec ses quatre vingt muscles faciaux, le visage représente un objet visuel riche et particulier (Farah, Wilson et al. 1998). En dépit de cette complexité, nous sommes des experts dans la reconnaissance des visages. Deux saccades oculaires, soit moins de 500 millisecondes, sont suffisantes à un humain pour arriver à identifier un visage (Hsiao and Cottrell 2008). En contexte naturel, les expressions faciales fournissent des informations cruciales, notamment, sur l'état émotionnel d'autrui et conséquemment sur l'environnement commun à ces deux êtres. Détecter les subtilités de ces informations permet d'adapter notre comportement (Darwin, 1872).

#### *Émotions de base*

Les travaux de Paul Ekman sur les émotions suggèrent qu'il existe six émotions de base innées qui présentent un patron de réponses physiologiques prévisible et une expression faciale qui leur est propre soient la peur, la joie, la tristesse, le dégoût, la colère et la surprise (Ekman et Friesen, 1975). Dans des travaux controversés, Ekman suggérait aussi l'universalité de ces six émotions de base. Des données plus récentes questionnent cette

universalité (Jack, Blais et al. 2009) et suggèrent l'indéniable influence de la culture dans la représentation même des expressions faciales d'émotions (Jack, Caldara et al. 2011).

Selon certains auteurs (Susskind, Lee et al. 2008), ces expressions ne seraient pas le fruit du hasard; le visage ayant évolué de façon à concilier expression et fonctionnalité de l'émotion. Par exemple, l'expression de dégoût entraînerait une réduction de l'acquisition sensorielle, par exemple par le biais de la fermeture des voies nasales de façon à protéger notre organisme des éléments potentiellement nuisibles dans l'environnement. La même étude a aussi démontré que les mouvements de l'expression de peur sont eux aussi concordants avec les fonctions de la peur. Ainsi, lorsque nous sentons qu'une situation menace notre intégrité physique ou psychologique, l'expression faciale conséquente entraîne une ouverture des sens au monde extérieur (augmentation subjective du champ visuel, augmentation de la rapidité des mouvements oculaires, augmentation du volume nasal et de la vélocité respiratoire).

### *Expressions faciales*

Une partie importante de la recherche dans le domaine des expressions faciales d'émotions utilise le système de *Facial Action Coding System* (FACS) (Ekman et Friesen, 1978). Ce système est basé sur le résultat des différentes actions possibles des différents muscles du visage. Ainsi, toutes les actions possibles d'un muscle ou d'un groupe de muscles possèdent un code appelé *Unité d'Action*. Chaque expression faciale est ainsi définie selon les différentes *Unités d'Action* qu'elle présente. L'application de ce système exige d'une part, une formation longue et exhaustive pour l'individu qui désire définir les dites expressions en ces termes, et d'autre part, un temps considérable pour coter chacune de ces expressions. De plus, cette approche demeure descriptive; elle fournit un outil pour identifier les actions d'une expression faciale donnée. Cette approche ne permet aucunement de se prononcer sur l'utilisation que fait le décodeur (l'observateur) de cette information et comment il arrive à identifier l'émotion exprimée ou encore de juger de l'intensité de celle-ci. Dans ce contexte, d'autres méthodes d'étude ont récemment été proposées. Parmi elles se trouve la méthode des « *Bulles* » (Gosselin and Schyns 2001).

*La technique des « Bulles »*

La méthode des « *Bulles* » (Gosselin and Schyns 2001) permet d'identifier les régions d'un stimulus complexe qui sont déterminantes pour l'identification de ce dernier. Elle consiste à rendre disponible une portion aléatoire de l'information visuelle (dans l'espace du visage par exemple) à une fréquence spatiale déterminée, donnant l'aspect de bulles. Ainsi, l'image en question est décomposée en six bandes de fréquence spatiale de un octave chacune de 128, 64, 32, 16, 8 ou 4 cycles par image. Pour chacune de ces images, on crée un masque de bulles aux positions aléatoires. L'ensemble des masques est ensuite réuni pour former un masque qu'on applique sur le stimulus. Le stimulus final est donc parsemé de bulles laissant passer certaines informations spatiales dans une bande de fréquence spatiale donnée. Afin de laisser passer une quantité comparable d'informations, la taille des bulles varie selon la fréquence spatiale; les bulles laissant entrevoir des basses fréquences spatiales étant plus grandes que celles permettant d'apprécier les hautes fréquences spatiales. On demande au participant d'effectuer une tâche de catégorisation en ayant comme seules informations celles que laisse transparaître le masque de bulles. Le nombre de bulles est ajusté en ligne avec un algorithme permettant de maintenir une performance stable (QUEST, Watson



et Pelli, 1983). Finalement, on procède à une régression linéaire multiple en utilisant les masques comme variables explicatives et les réponses des participants comme variable prédictive. On obtient, pour la catégorie désirée (émotion, identité, participant, etc.) une *Image de Classification* illustrant la valeur pondérée (en scores  $Z$ ) de chaque pixel de l'image. Cette *Image de Classification* représente donc à quel point chacun des pixels est corrélé avec une bonne catégorisation.

L'application de la technique « *Bulles* » aux expressions faciales des six émotions de base suggère que le visage a évolué de façon à rendre les expressions faciales des six émotions de base le plus orthogonales possibles (Smith, Cottrell et al. 2005). Ainsi, les corrélations entre les informations utilisées pour détecter chacune des six expressions faciales semblent être minimales, de façon à maximiser les chances de reconnaissance. D'une part, les régions visuelles efficacement utilisées par l'observateur varient pour chaque émotion en terme de location (e.g. bouche pour joie vs yeux pour peur), de fréquences spatiales (yeux en hautes fréquences spatiales pour peur vs région des yeux en moyennes fréquences spatiales pour colère) ou encore en termes d'information (bouche informative pour joie et surprise, mais l'information qui s'y trouve est très différente : dents pour joie et bouche ouverte pour surprise).

Ainsi, comme émetteur de signal, le visage semble exprimer les émotions de la façon la plus claire physiquement possible.

Similairement, comme décodeur de cette information, le cerveau semble aussi utiliser des réseaux relativement distincts pour le traitement relié à chacune des émotions de base. Par exemple, l'amygdale semble particulièrement impliquée dans le traitement de la peur (Morris, Frith et al. 1996; Adolphs, Gosselin et al. 2005), l'insula et les ganglions de la base auraient un rôle spécial dans le traitement du dégoût (Phillips, Young et al. 1997; Anderson, Christoff et al. 2003). Le cortex orbito-frontal serait particulièrement impliqué lors de la colère (Blair, Morris et al. 1999). Schyns, Petro et al. (2009) ont utilisé l'électroencéphalogramme pour explorer le décours temporel de l'information visuelle de l'observateur. Leurs résultats suggèrent que le cerveau humain commence par analyser les informations présentes dans les yeux, puis traite le visage de façon plus globale avant de revenir de façon plus locale aux caractéristiques diagnostiques de l'émotion présentée.

Qu'en est-il de la douleur ? La prochaine section identifiera ce que nous savons de l'expression faciale de douleur, autant du point

de vue du visage comme émetteur de signal que de celui du cerveau comme agent décodeur.

#### ***1.2.6. Expression faciale de douleur***

La douleur possède son expression faciale propre. L'abaissement des sourcils, l'élévation des joues, la fermeture partielle des paupières, le plissement du nez et le soulèvement de la lèvre supérieure (Prkachin 1992; Simon, Craig et al. 2008) sont les éléments constitutifs d'une expression faciale typique de douleur selon le système des *Unités d'Action*. À l'instar des émotions de base, est-il empiriquement démontré que la communication de la douleur soit assez fondamentale pour mettre en branle les énergies et mécanismes nécessaires au développement d'une communication efficace de la douleur via son mode privilégié par l'observateur, l'expression faciale ?

#### ***Quelques caractéristiques***

L'expression faciale de douleur est stable de la naissance à un âge plus avancé (Craig, Whitfield et al. 1993; Anand et Craig 1996; Benedetti, Vighetti et al. 1999). La stabilité de l'expression à travers les types de stimuli évoquant de la douleur est aussi établie (Prkachin 1992). Dans cette dernière étude, Prkachin a induit de la

douleur de quatre façons : par les chocs électriques, par le froid, par la pression ou par l'ischémie. L'utilisation du système des FACs suggère que le patron facial est stable à travers ces quatre conditions. D'après les études auprès des normaux, il semble que l'expression faciale de douleur représente l'intensité du stimulus douloureux au-delà de l'évaluation subjective rapportée (Kunz, Mylius et al. 2004; Patrick et al 1986) proposant que le rapport verbal serait incomplet en regard de l'expression comportementale (Kunz, Chen et al. 2011). La concordance modérée ou parfois faible entre ces deux canaux de communication pourrait d'ailleurs être un indicateur de non redondance entre ces informations.

#### *Le cerveau comme agent décodeur*

Le « modèle perception-action » (Preston et de Waal 2002) est un modèle global de l'empathie qui propose que percevoir un événement (acte moteur, émotion, etc.) activerait chez l'observateur les mêmes mécanismes sous-tendant la réalisation de ce même phénomène. Ce modèle trouve appui dans plusieurs études d'imagerie qui ont démontré que l'activation cérébrale de l'expérience de douleur correspond au moins partiellement avec l'activation cérébrale lors de la perception de la douleur d'autrui (pour un recensement, voir Jackson, Rainville et al. 2006). Cette

réponse cérébrale reflèterait l'activation automatique de la représentation mentale de la douleur et constituerait une réponse adaptée à une menace potentielle dans l'environnement (Williams 2002).

L'ensemble des études appuyant le modèle de Preston et de Waal regroupe d'une part, des études où des individus sont témoins de scènes représentant la douleur d'autrui via les stimuli qu'ils reçoivent que dans les études où les observateurs sont témoins de comportements de douleur (dont l'expression faciale). Parmi la première catégorie d'études, Jackson, Brunet et al. (2006) ont présenté des photos de mains et pieds en situation de douleur et ont demandé à des volontaires de juger la douleur de deux façons différentes, soit en s'imaginant eux-mêmes, ou autrui, vivant la situation présentée. Selon les auteurs, il est juste de penser que l'empathie à la douleur n'implique pas de s'immerger complètement dans la situation vécue par autrui car la matrice cérébrale de la douleur n'est pas activée aussi largement dans la condition « autre » que dans la condition « soi ». En plus de juger comme plus intense la douleur s'ils s'imaginent la vivre, les sujets répondent plus rapidement dans cette condition, impliquant un traitement différent de l'information. Traiter la situation en position « soi » est possiblement plus efficace. Aussi, imaginer autrui dans la

situation requiert effectivement possiblement carrément la prise en compte d'informations additionnelles.

De surcroît, d'autres données suggèrent une représentation somatotopique de la douleur d'autrui (Avenanti, Buetti et al. 2005). Des chercheurs ont présenté à leur participants des images représentant soit une seringue pénétrant le muscle entre le pouce et l'index d'une main (1), une seringue pénétrant une tomate (2), un coton-tige appuyant sur le muscle entre le pouce et l'index d'une main (3) ou encore une seringue pénétrant un pied (4). En utilisant la stimulation magnétique transcrânienne, ces auteurs ont démontré une diminution de l'excitabilité du territoire cortical impliqué dans le contrôle des muscles de la main près du pouce et de l'index qui était spécifique aux images nociceptives et se rapportant à la main (images de la condition 1). Cette diminution de l'excitabilité suggère que l'observateur se représente l'expérience d'autrui selon un schème sensorimoteur somatotopique. Les auteurs présentent aussi un lien entre cette modulation de l'excitabilité motrice de la main avec l'empathie des participants suggérant que cette représentation motrice de l'expérience nociceptive d'autrui fait partie du processus empathique.

Parmi les études utilisant des comportements résultant de la douleur comme stimuli, Carr et ses collègues (Carr, Iacoboni et al. 2003) ont demandé à des sujets d'observer et/ou d'imiter des visages exprimant certaines des émotions de base. Ils ont notamment découvert une activation cérébrale commune pour les deux conditions de la région prémotrice (visage), du gyrus frontal inférieur (pars opercularis), du sulcus temporal supérieur, de l'insula et de l'amygdale. Botvinick, Jha et al. (2005) ont investigué la réponse cérébrale de participants à la vue de vidéos de visages de patients en douleur réelle. Dans des blocs séparés, on induit à ces sujets observateurs une sensation thermique douloureuse ou non. Les résultats permettent de comparer le patron d'activation en situation de douleur avec celui d'observation de comportements douloureux. Le CCA et l'insula s'activent non seulement lors de stimulations douloureuses, mais aussi à la vue des vidéos de visages exprimant de la douleur. Donc, ces structures neuronales répondent à la vue de la douleur d'autrui (Jackson and Decety 2004; Singer, Seymour et al. 2004), mais aussi aux comportements d'autrui résultants de cette sensation désagréable. Saarela, Hlushchuk et al. (2006) ont utilisé des photographies de visages de personnes exprimant de la douleur véritable. Leurs stimuli étaient constitués de photos représentant d'une part des patients vivant de la douleur chronique (douleur au repos et provoquée) et d'autre part,

d'individus sans douleur chronique (stimuli faciaux neutres). Il était demandé aux participants d'estimer l'intensité de la douleur vécue par les personnes sur la photo. L'imagerie du cerveau de ces patients révèle que, non seulement les régions reliées au traitement de la douleur s'activent, mais le CCA, l'insula antérieure et le lobe pariétal inférieur s'activent proportionnellement à l'intensité de la douleur jugée par l'observateur. Nous savons que, par exemple, pour la douleur vécue, l'insula s'active de façon proportionnelle à l'intensité de la douleur rapportée (voir Peyron, Laurent et al. 2000). Il semblerait donc que lorsque nous voyons le visage de quelqu'un en souffrance, notre cerveau réagit à l'instar d'une douleur vécue c'est-à-dire avec une activation proportionnelle à l'intensité de la douleur jugée vécue par autrui.

### **1.3.Liens entre communication et modulation de la douleur**

Quantifier et caractériser l'impact de la communication de la douleur connaît un intérêt grandissant. De récentes données chez l'humain suggèrent que le fait de voir des stimulations douloureuses induites à autrui, même non familier, est suffisant pour enclencher les processus descendants de régulation de la douleur (Godinho, Magnin et al. 2006). Mailhot et ses collègues (2012) ont supporté et



généralisé ces résultats aux comportements de douleur. Ils ont démontré que le fait de regarder des expressions faciales dynamiques de douleur juste avant de recevoir une stimulation douloureuse augmente à la fois le traitement spinal (dans ce cas-ci le RIII) et supra-spinal (perceptions subjectives d'intensité et de désagrément). Toutefois, lorsque les stimuli utilisés sont statiques (photos), cet effet de facilitation vicariante est moins grand pour les comportements de douleur (incluant l'expression faciale de douleur) que lorsque nous sommes directement confrontés à des images illustrant les stimulations nociceptives (Vachon-Presseau, Martel et al. 2011).

#### **1.4.Résumé et objectifs**

La présente thèse veut caractériser l'information efficacement utilisée par l'observateur pour détecter la douleur dans le visage d'une personne souffrante. Puis, elle vise à définir le lien qui existe entre cet outil de communication de la douleur - l'expression faciale- et la modulation nociceptive chez l'observateur.

***1.4.1. Article 1: Efficient information for recognizing pain in facial expressions.***

Les données descriptives et comportementales de l'expression faciale de douleur attestent de l'importance de celle-ci dans le processus de communication de la douleur. Toutefois, très peu de données permettent de se positionner sur le traitement visuel spécifique que l'observateur déploie pour catégoriser l'expression faciale de douleur. Ainsi, le premier objectif de cette thèse est de déterminer quels sont les attributs visuels permettant à l'observateur de distinguer la douleur dans l'expression faciale d'autrui. Par rapport au modèle biopsychosocial de la communication de la douleur présenté précédemment, la contribution de la première étude se place dans ce que les auteurs appellent l'interaction en identifiant les régions faciales distinctives de l'expression faciale de douleur et de caractériser précisément comment elles diffèrent des autres émotions. Pour y arriver, la technique des « *Bulles* » sera utilisée. Cette technique a notamment permis d'illustrer les informations diagnostiques dans le visage pour la reconnaissance des six émotions de base. L'application de cette technique à la reconnaissance de la douleur constituera donc le premier article qui précisera l'information visuelle, en termes d'information spatiale et

fréquentielle, permettant à l'observateur de distinguer la douleur des émotions de base.

***1.4.2. Article 2: A refined examination of the facial cues contributing to vicarious effects on self-pain and spinal responses.***

Les résultats de cette première étude serviront directement de stimuli pour l'étude deux qui visera à déterminer l'impact de ces informations visuelles essentielles pour la discrimination de la douleur dans le processus de modulation de la douleur. Tel que précédemment décrit, nous savons que, dans certaines circonstances, l'expression faciale de douleur est suffisante pour induire une modulation de la douleur ressentie par l'observateur auquel on induit de la douleur. L'effet de cette modulation semble moindre que lorsque l'observateur voit des images illustrant directement des stimulations nociceptives imposées à autrui, ce qui nous rapporte à la distinction affective vs sensorielle de la douleur. Une des possibilités expliquant cette différence demeure que l'expression faciale de douleur est particulièrement sujette à des confusions avec les autres émotions en plus du biais de sous-estimation de la douleur vécue par autrui. Ainsi, cette seconde étude isolera l'impact modulateur des pixels de l'expression faciale de

douleur les plus corrélés avec une reconnaissance juste (quintile le plus élevé en termes de corrélation) sur la douleur induite par des stimulations électriques du nerf sural. Les stimuli contrôles consisteront en la présentation des pixels les moins corrélés avec une reconnaissance juste de la douleur (quintile le moins élevé en termes de corrélation). Par rapport au modèle de Hadjistravopoulos, l'apport de la seconde étude se situe donc dans la partie transactionnelle de la communication en spécifiant comment l'outil privilégié de la communication de douleur, l'expression faciale, influence l'expérience de douleur du décodeur s'il est lui-même soumis à une stimulation nociceptive.

## **CHAPITRE 2**

### **Article 1**

## **Efficient information for recognizing pain in facial expressions**

Cynthia Roy<sup>1</sup>, Caroline Blais<sup>1</sup>, Daniel Fiset<sup>2</sup>, Pierre Rainville<sup>3</sup> & Frédéric Gosselin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition,  
Département de Psychologie, Université de Montréal, CP 6128,  
succ. Centre-ville, Montréal H3C 3J7, CANADA*

<sup>2</sup> *Université du Québec en Outaouais, C.P. 1250, succursale Hull,  
Gatineau, J8X 3X7, CANADA*

<sup>3</sup> *Centre de recherche de l'institut universitaire de gériatrie de  
Montréal, and Centre de recherche sur le système nerveux central  
(GRSNC), Département de stomatologie, Université de Montréal,  
CP 6128, succ. Centre-ville, Montréal H3C 3J7, CANADA*

### Abstract

The face as a visual stimulus is a reliable source of information for judging the pain experienced by others. Until now, most studies investigating the facial expression of pain have used a descriptive method (i.e., FACS; Ekman & Friesen, 1975). However, the underlying perceptual mechanisms remain largely unknown despite the strong medical impact that misjudging pain can have on patients' well-being. Here we investigated this question by applying the *Bubbles* method (Gosselin & Schyns, 2001). Fifty healthy volunteers were asked to categorize facial expressions (the six basic emotions, pain and neutrality) displayed in stimuli obtained from a previously validated set and presented for 500ms each. In order to determine the critical areas of the face used to categorize, faces were partly masked based on random sampling of regions of the face at different spatial frequency ranges. Results show that accurate pain discrimination relies mostly on the frown lines and the mouth. Finally, an ideal observer analysis indicated that the use of the frown lines in human observers could not be attributed to the objective “informativeness” of that area. Based on a recent study suggesting that this area codes for the affective dimension of pain (Kunz, Lautenbacher et al. 2011), we propose that the brain visual system has evolved to focus primarily on the facial cues that signal

the aversiveness of pain, consistent with the social role of facial expression in the communication of potential threats..



### *1. Introduction*

The communication of pain provides an adaptive advantage by signaling immediate threats to conspecifics and by enabling the solicitation of protection, appropriate care and moral support (Williams 2002). Vocalizations, posture, self-report and facial expression are different cues an observer can rely on to detect and judge the intensity of another's pain (Hadjistavropoulos and Craig 2002). Those behaviors allow the sufferer to communicate his/her internal painful experience and enable the decoder to infer the physical and emotional state of the sufferer (Prkachin and Craig 1995). Observers judge non-verbal cues to be more reliable than the verbal components of pain communication (Hill and Craig 2002). Consequently, when asked to judge someone else's pain, observers rely more on those non-verbal components and, more specifically, they depend heavily on facial expression (Poole and Craig 1992; Williams 2002).

The constituents of the facial expression of pain have been described in studies using the Facial Action Coding System (FACS; Ekman and Friesen 1975). The acute pain face generally includes brow lowering, cheek raising, lid tightening, nose wrinkling, upper lip raising and eye closing (Craig, Prkachin et al. 1992). Four core actions seem to be particularly consistent: brow lowering, orbit tightening, upper-lip raising/nose wrinkling and eye closure

(Prkachin 2009). This pattern of core Action Units (AUs) can also be differentiated from the patterns coding for the expressions of the six basic emotions (Simon et al., 2008).

When judging others' pain based on facial expression, human observers systematically underestimate the intensity of the sufferer's own pain reports (Prkachin, Berzins et al. 1994). Practitioners become more vulnerable to this bias with experience (Prkachin, Solomon et al. 2007), resulting in elevated risks of under-treatment. Moreover, observers are found to be less accurate at identifying pain than other negative emotions and they often mistake pain for disgust, fear and anger (Kappesser and Williams 2002). Despite the aforementioned findings and the established importance of the facial expression in estimating pain in others, little is known about the visual processes implicated in recognizing pain. Descriptive methods (e.g., FACS) allow researchers to pinpoint the facial components that are typically involved in the recognition of pain expression (Simon, Craig et al. 2008). However, they involve making indirect inferences about the information used to identify pain. Indeed, those methods describe the manner in which someone communicates pain via his/her facial expression but they do not enable the direct identification of the subset of this

available information that is effectively used by the decoder in order for him/her to detect and differentiate emotions.

In the present study, we employ the *Bubbles* technique (Gosselin and Schyns 2001), a psychophysical method that will allow us to directly reveal the visual information leading to accurate recognition of pain in faces. In a *Bubbles* experiment, observers are asked to perform a task (e.g., facial expression discrimination) from randomly sampled small regions of a stimulus (e.g., faces). After thousands of trials, the stimulus information correlated with performance is derived. The *Bubbles* technique has proven to be a valid and powerful research tool (Adolphs, Gosselin et al. 2005; Nielsen, Logothetis et al. 2006; Adolphs, Spezio et al. 2008; Dotsch, Wigboldus et al. 2008; Lee, Gosselin et al. 2011)

## 2.Method

*2.1 Participants.* Fifty participants (17 males) took part in the experiment. All had normal or corrected to normal vision and were paid for their participation. All procedures were approved by the local ethics committee.

*2.2 Material and Stimuli.* The stimuli were presented on a calibrated high-resolution CTR monitor with a refresh rate of 60 Hz. Experimental programs were written using functions from the

Psychophysics Toolbox (Brainard 1997; Pelli 1997) for Matlab (version 7.5; Mathworks, Inc., Natick, MA). Viewing distance was such that stimuli spanned  $5.72^\circ \times 5.72^\circ$  (256 x 256 pixels).

Stimuli were created from a validated database (Roy, Roy et al. 2007; Simon, Craig et al. 2008) composed of photos of 10 actors successively expressing one of seven emotions (i.e., the six basic emotions and pain) at a comparable strong intensity level or displaying a neutral expression. The six basic emotions and the neutral expression were included in the experiment so that the results would represent the information needed to differentiate pain from other emotions. Those 80 gray-scaled base photos had normalized global orientation and lighting. They were also spatially aligned so that the eyes and the nose of all faces were as much as possible at the same position without distorting the faces. A grey mask with an elliptic hole was applied to each face to hide the hair and the background.

On each trial, a “bubblized” stimulus was created as follows (see Figure 1 for an illustration of the stimuli creation). The base photo was decomposed into five spatial frequency bands of one octave each (128–64, 64–32, 32–16, 16–8, and 8–4 cycles/image or 42–85, 21–42, 11–21, 5–11, 3–5 cycles/face width; the remaining bandwidth was used as constant background). Then, for each spatial

frequency, the facial information was sampled using Gaussian apertures (i.e., bubbles) that were randomly positioned in space. The positions of the bubbles varied randomly across trials, such that all positions had an equal probability of being revealed. The size and number of bubbles were adjusted so that an equivalent amount of information was revealed in each frequency band. Consequently, the coarser the spatial scale, the bigger and rarer were the bubbles. More specifically, the bubbles had full-width half maxima (FWHM) of 14.1, 28.3, 56.5, 113.0 and 226.1 pixels on the space dimension, from the highest to the lowest frequency band. Finally, the information revealed by the bubbles on each spatial frequency band was fused to create the final stimulus.

-----Insert figure 1 around here-----

*2.3 Procedure.* Each trial began with a fixation cross displayed at the center of the screen for 500 ms. A bubbled stimulus was then presented for 500 ms at the center of the screen. Each participant completed a total of 4000 trials (25 blocks of 160 trials). Subjects were asked to identify the perceived emotion by pressing the corresponding key on the computer keyboard. No response time limit was imposed and no feedback was provided. The next trial occurred 500 ms after the participant's response.

Mean accuracy was maintained at 56.25% correct across all emotions [halfway between chance (12,5% correct) and perfect recognition (100%)] by adjusting the number of bubbles (i.e., the amount of visual information revealed) on a trial-by-trial basis using an adaptive procedure (QUEST; (Watson and Pelli 1983).

#### *2.4 Data analysis*

We first calculated the hit and false alarm rates for each emotion. Then, a repeated measures ANOVA was performed on the hit rates with the 8 expressions as the within-subject factor. Subsequently, two chi-square tests were performed on the pain false alarm rates (e.g., respond it's "pain" when, in fact, the face expresses disgust) and the pain omission rates (e.g., respond "disgust" when, in fact, the face expresses pain) to evaluate if errors were evenly distributed. These analyses were performed with SPSS 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

To pinpoint the visual information that human observers used to discriminate pain from other facial expressions, we computed a "classification image" for each participant, each expression and each spatial frequency band. A classification image is obtained by calculating a weighted sum of all the bubbles masks presented to the participant, using the accuracy of the participant

transformed into z-score values as weights. This procedure amounts essentially to a multiple linear regression on the bubbles masks and on the accuracy. The result of this analysis indicates which facial areas, in each spatial frequency band, are positively correlated with accurate pain recognition. The classification images were transformed into z-scores using the uninformative area around the face stimulus used as a reference noise distribution. A group classification image was then computed for each emotion by summing the individual classification images and by dividing the sum by the square root of 50 -the number of participants. Finally, the *Pixel* test (Chauvin, Worsley, Schyns, Arguin, & Gosselin, 2005) was applied to the group classification images to determine the critical z-score value for statistical significance ( $p < .05$  family-wise, one-tailed). The statistical threshold provided by this test corrects for multiple comparisons while taking the spatial correlation inherent to structured images into account.

### 3. Results

#### 3.1 Identification accuracy

On average, 149.2 bubbles (SD=127.2) were necessary to maintain the accuracy at 56.25%. The average accuracy across all the participants was of 61.7%, indicating that the algorithm worked

relatively well. More specifically, happy expressions were correctly identified on 85,7% of the trials ( $\pm 9.1\%$ ), followed by surprise ( $69,7 \pm 11,5\%$ ), sadness ( $64,1 \pm 11,2\%$ ), anger ( $61,5 \pm 11,1\%$ ), fear ( $58,7 \pm 12,6\%$ ), neutral ( $57,1 \pm 10,4\%$ ), pain ( $49,4 \pm 14,0\%$ ) and disgust ( $47,4 \pm 12,3\%$ ). There was a significant effect of the emotion on the hit rates ( $F(1,7) = 52.84, p < 0.001$ ). Post-hoc analysis using Tukey's HSD criterion indicated that the pain hit rate was significantly lower ( $p < .05$ ) than that of all other emotions, except for disgust which did not differ significantly from pain. Therefore, in accordance with previous studies (Kappesser and Williams 2002; Smith, Cottrell et al. 2005; Simon, Craig et al. 2008), pain exhibited one of the lowest hit rates of all tested emotions.

The confusability matrix (Table 1) shows the distribution of the participant's responses (hit and false alarm rates) for all eight emotions. A chi-square test of independence indicated that pain false alarm rates were not evenly distributed across other emotions ( $\chi^2(6, N = 50) = 2.91, p < .001$ ). More specifically, post-hoc paired t-tests with Bonferroni correction for multiple comparisons revealed that sadness and disgust were perceived as pain significantly more often than did the other emotions ( $p < .001$ ). Other than these two emotions, happiness was also frequently mistaken for pain more often than the other emotions ( $p < .001$ ). Inversely, surprise rarely



led to pain perception ( $p < .001$ ). An uneven distribution of errors was also observed for the pain omission rates ( $\chi^2(6, N = 50) = 3.05$ ,  $p < .001$ ). Post-hoc analysis with paired T-tests indicated that pain expressions were more often mistaken for disgust and for sadness than for any other emotion ( $p < 0.001$ ). In fact, pain was more often mistaken for disgust than for any other emotion except sadness. Again, pain was less often confounded with surprise than with all other emotions ( $p < .001$ ).

The hit and false alarm rates observed here support the idea that the *Bubbles* technique did not change the visual strategy of the participants. In fact, the answers' distribution of the participants were proportionally comparable with those previously reported in studies that did not alter the appearance of the facial expressions (Kappesser and Williams 2002; Smith, Cottrell et al. 2005; Roy, Roy et al. 2007; Simon, Craig et al. 2008).

-----Insert table 1 around here -----

### *3.2 Efficient information for pain identification.*

The red blobs in Figure 2a are the areas of the face that were significantly correlated with the accurate discrimination of pain from other facial emotions. To summarize, participants efficiently used the information around the frown lines region at scales from

11-85 cycles per face width, the corners of the mouth at scales from 21-42 cycles per face width, and the entire mouth at 11-21 cycles per face width. No information was used effectively by human observers in spatial frequency bands lower than 11 cycles per face width.

-----Insert figure 2 around here-----

These Bubbles results explain at least qualitatively the pain false alarm rates in the emotion confusion matrix. We can think of the filters that are derived using Bubbles as lenses that the brain uses to look at stimuli. Any facial emotion that looks like pain through those pain filters, which reveal the frown lines and the corners of the mouth, should lead to pain false alarms. The frown lines of sad faces are remarkably like those of pain faces. The corners of the mouth of happy faces are almost identical to those of pain faces. Both the corners of the mouth and the frown lines of disgust faces are somewhat similar to those of pain faces. Inversely, any facial emotion that does not look like pain through the pain filters should rarely lead to pain false alarms. Neither the corners of the mouth, nor the frown lines of surprise faces resemble those of pain faces.

### 3.3 Ideal observer.

To uncover the information that was available to our human observers to discriminate the expression of pain from the expression of other emotions, we submitted an ideal observer to the same *Bubbles* experiment as our human observers (e.g., Gosselin & Schyns, 2001). An ideal observer is a computational model that uses the optimal visual strategy to execute a given task (e.g., Tjan, Braje, Legge & Kersten, 1987). On each trial, the ideal observer correlated the stimulus with all 80 base photos, and it responded the emotion expressed in the base photo most correlated with this stimulus. Gaussian white noise was added to the stimuli to maintain the accuracy at the same level as that found in the human experiment. Thus, the ideal observer completes the task by considering the stimulus as an image instead of as a face composed of features. It uses all the information available since it compares each pixel of the stimulus with each pixel of the base photos.

The confusability matrix of the ideal observer is presented in Table 1b. Interestingly, pain has one of the highest hit rate for the ideal observer whereas it has one of the lowest for human observers. Furthermore, the pain false alarm and omission rates of the ideal observer are homogenous (respectively  $\chi^2(6, N = 1) = 1.60$ ,  $p=.95$  and  $\chi^2(6, N = 1) = 2.67$ ,  $p=.85$ ) unlike for human observers.

Next, to reveal directly the information available to discriminate the expression of pain from the expression of other emotions, we computed the classification images of the ideal observer using the same procedure as described above. Figure 2b shows the result of this analysis. Again, red blobs correspond to regions that attained statistical significance. To summarize, the ideal observer used most effectively the information contained in the eye regions at high spatial frequencies (scales from 21-85 cycles per face width), in part of the lips at mid-to-high spatial frequencies (scales from 21-42 cycles per face width), in the mouth region at lower frequencies (scales from 3-21 cycles per face width), and in the nose region at very low spatial frequencies (scales of 3-5 cycles per face width). The differences between the classification images of the human observers and that of the ideal observer imply that human observers are not entirely signal driven.

#### *4. Discussion*

##### *4.1 Main results and interpretation*

The main goal of the present study was to identify, for the first time, the visual information used effectively by healthy human observers to discriminate the facial expression of pain from the facial expression of other emotions. To achieve this aim, we used

the *Bubbles* method, which asked observers to discriminate facial emotions from randomly sampled small regions of a face. We found that accurate pain discrimination relied mostly on the frown lines region (between 11 and 85 cycles per face width), on the corners of the mouth (between 21 and 42 cycles per face width), and on the entire mouth (between 11 and 21 cycles per face width). No information was used effectively in spatial frequency bands lower than 11 cycles per face width. So, among the facial action units identified in the literature as being present in the expression of pain (nose wrinkling, upper lip raising, brow lowering, cheek raising, lid tightening and eye closing; Craig, Prkachin et al., 1992; Prkachin, 2009), human observers seem to rely only on the between the eyes wrinkles resulting from the nose wrinkling and the mouth globally (not just lip raising).

One question arising at this point is whether human observers use these particular facial cues because they contains more information for the task at hand than any other facial cues. A rigorous way to characterize the information available to discriminate the expression of pain from the expression of other emotions is to perform an “ideal observer” analysis. It turns out that the most informative facial cues for the task are the eyes (from 21 to 85 cycles per face width), parts of the lips (from 21 to 42 cycles per face width), the mouth (from 3 to 21 cycles per face width), and the

nose (from 3 to 5 cycles per face width). Thus, both the human observers and the ideal observer use the mouth area, although only the ideal observer uses the mouth area in very low spatial frequencies.

The higher sensitivity of the human visual system to middle spatial frequencies (De Valois, Morgan et al. 1974) might explain why the human observers did not use the mouth in the lower spatial frequencies. However, the most intriguing finding is the use of frown lines by human observers in the three highest spatial scales despite this facial cue not being used at all by the ideal observer. One potential explanation comes from a study by (Kunz, Lautenbacher et al. 2011). These researchers proposed that the facial expression of pain might encode both the sensory and the affective dimensions of pain. The sensory dimension of pain refers to the quality, intensity, and spatio-temporal characteristics of the sensation, whereas its affective dimension refers to the negative valence and aversiveness inherent to the painful sensation (Melzack and Eisenberg 1968). On the one hand, Kunz and coll. showed that increasing the affective component of the sufferer's pain experience through suggestions enhances the activation of the *levator labii superioris* muscle (responsible for lip raising) and of the *corrugator* muscle (responsible for the contraction of the eyebrows) in the pain

facial expression. On the other hand, they showed that increasing the sensorial aspect of the participants' experience enhances the activation of the *orbicularis oculi muscle* (responsible for the contraction of the muscles surrounding the eyes). In light of these results, the utilization of the frown lines by our participants could mean that human observers are tuned to the sufferer's emotional nociceptive experience more than their sensorial experience. Interestingly, this effect contrasts with the pattern observed in the ideal observer where the inferior part orbicularis oculi did contribute to the optimal performance (see Figure 2). This implies that this discriminant information was available in the stimuli but not used by the human observer.

Pain in others has been described as a powerful stimulus to prime defensive responses allowing self-protection in the observer (e.g. avoidance, escape). Consistent with the Perception-action model (Preston and de Waal 2002), previous findings suggest that cues indicating pain in others (e.g. limbs receiving potential painful stimulation) activate cerebral regions associated with self-pain (Morrison, Lloyd et al. 2004; Jackson, Meltzoff et al. 2005), and particularly, regions associated preponderantly with the treatment of the affective component of pain (e.g. ACC). Similarly, (Vachon-Presseau, Martel et al. 2011) have shown that vicarious pain can activate descending facilitation circuits at different levels of the

neuraxis depending of different properties of the stimuli. By directly signaling a potential threat in the observer's environment, the aversive information in another's expression can also trigger appropriate physiological and behavioral responses for its own safety. Therefore, we can hypothesize that the present findings indicate that human observers have somehow adjusted/biased their internal representation of the facial expression of pain to preferentially decode others' affective painful experience in order to optimize self-protection priming responses.

More speculatively, we can hypothesize that human observers read mainly the affective information in the other's facial expression to allow appropriate response to the sufferer, notably according to the social context. For example, in a context where one aims to reinforce social links, adjusting behavior to the affective experience of another's pain seem to provide the best possible support whereas responding based on the sensorial experience could lead to non optimal support as similar sensations can be associated with different affective experiences (e.g. stomach ache due to indigestion vs to serious illness). Singer, Seymour et al. (2004) have demonstrated that empathy for a loved one' pain experience involves the affective portion of the experience, but not the sensorial component. On contrary, in a confrontation context,



decoding the affective experience of the opponent can serve strategic choices.

#### *4.2. Methodological implications*

The present study proposed an alternative tool to descriptive methods such as FACS to investigate the visual properties of the facial expression of pain. The results showed that description of the facial movements activated in another's face relies on indirect assumptions and is therefore imprecise when it comes to understand the observer's visual information processing. Notably, such techniques don't allow to take into account the mental representation of observers and their impact on visual processing. In previous studies, the "Bubbles" technique allowed significant findings in clinical populations about emotional facial expressions processing (e.g. Adolphs, Spezio et al. 2008; Lee, Gosselin et al. 2011). More interestingly, the literature has shown that identifying visual cues allowing correct emotion recognition in normal population can help normalizing patient performances. For example, Adolphs, Gosselin et al. (2005) have described the case of S.M, a patient with bilateral amygdala damage who could not recognize fear in others' faces. She was found to use an atypical visual strategy to extract information in facial expressions when compared to peers; she did not spontaneously look at the eyes in

facial expressions. As the eyes are critical for identifying fear, she couldn't perform normally on that specific emotion. They demonstrated that by explicitly suggesting to S.M to look at this region when looking into someone's face her performance became completely normal. Such evidence suggests that investigating visual processing of pain facial expression with methods that directly extract explicit information is critical for a complete understanding of correct and incorrect pain identification and judgment.

#### *4.3 Limitations and further perspectives*

There are several issues raised by the present study in relation to prior literature that merit further investigation. First, the stimuli used here have been taken from a databank of professional actors expressing strong pain. Further validation of the present results with spontaneous facial expression of pain varying in their intensity is required. Furthermore, validating the cues identified here in other type of categorization task (e.g. judging the intensity of the pain) would help to determine to what extent the results can be applied to clinical contexts. Finally, we used static displays of pain as a first step in identifying specific visual cues underlying correct identification of pain. Knowing that static and dynamic facial expression differ in their treatment (Haxby, Hoffman et al. 2000;

Adolphs, Tranel et al. 2003; Kilts, Egan et al. 2003; LaBar, Crupain et al. 2003), that the rhythm of the expression deployment is of central importance in the recognition process (Kamachi, Bruce et al. 2001), and that temporal information of pain expression can help discriminate real from faked pain (Hill and Craig 2002), further studies should use dynamic stimuli.

Table 1. Confusability matrix depicting the proportion of responses (columns) for each target emotion presented (rows) in (a) human observers and (b) an ideal observer. Hits are presented in the diagonal in bold, while omissions (rows – regular font) and false alarms (columns – regular font) are reported for each emotion in the rest of the matrix.

EMOTION PRESENTED								
a.	Pain	Disgust	Fear	Happy	Neutral	Anger	Sadness	Surprise
<b>Pain</b>	<b>0,4943</b>	0,0947	0,0365	0,1502	0,0217	0,0408	0,1533	0,0085
<b>Disgust</b>	0,1581	<b>0,4744</b>	0,0273	0,0273	0,0451	0,1491	0,1119	0,0068
<b>Fear</b>	0,0326	0,0324	<b>0,5865</b>	0,0183	0,0301	0,0427	0,0606	0,1968
<b>Happy</b>	0,0259	0,0103	0,0130	<b>0,8573</b>	0,0595	0,0074	0,0184	0,0082
<b>Neutral</b>	0,0293	0,0365	0,0346	0,0759	<b>0,5707</b>	0,0283	0,1496	0,0751
<b>Anger</b>	0,0348	0,0314	0,0314	0,0418	0,1387	<b>0,6153</b>	0,0256	0,0153
<b>Sadness</b>	0,0773	0,0186	0,0186	0,0225	0,1907	0,0184	<b>0,6411</b>	0,0110
<b>Surprise</b>	0,0077	0,1735	0,1735	0,0156	0,0622	0,0136	0,0208	<b>0,6972</b>
b.	Pain	Disgust	Fear	Happy	Neutral	Anger	Sadness	Surprise
<b>Pain</b>	<b>0,6607</b>	0,0557	0,0373	0,0601	0,0460	0,0581	0,0529	0,0293
<b>Disgust</b>	0,0434	<b>0,6705</b>	0,0329	0,0509	0,0507	0,0668	0,0441	0,0407
<b>Fear</b>	0,0339	0,0386	<b>0,6699</b>	0,0422	0,0498	0,0467	0,0498	0,0690
<b>Happy</b>	0,0604	0,0628	0,0371	<b>0,6226</b>	0,0668	0,0559	0,0558	0,0387
<b>Neutral</b>	0,0455	0,0646	0,0527	0,0669	<b>0,5335</b>	0,0740	0,0971	0,0658
<b>Anger</b>	0,0489	0,0787	0,0455	0,0595	0,0683	<b>0,5839</b>	0,0624	0,0527
<b>Sadness</b>	0,0544	0,0488	0,0519	0,0598	0,0973	0,0649	<b>0,5702</b>	0,0527
<b>Surprise</b>	0,0209	0,0435	0,0650	0,0320	0,0531	0,0487	0,0451	<b>0,6916</b>

EMOTION PERCEIVED

Figure 1. Stimuli creation. The original stimulus is decomposed in five spatial frequency bands (first row). Randomly positioned gaussian apertures are created for each band (second row). The size and number of apertures are adjusted for each band. The two first rows are then multiplied (third row). The five resulting stimuli are then fused to create the final stimulus.

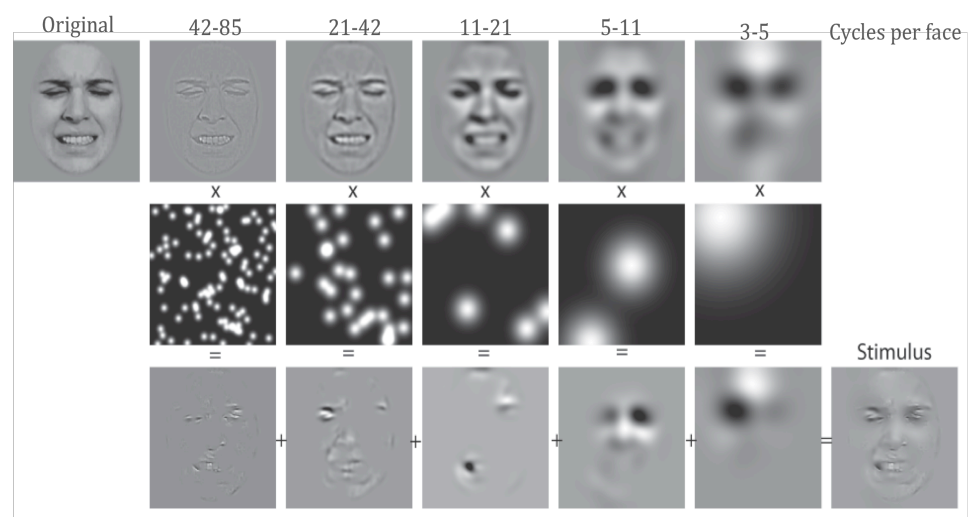
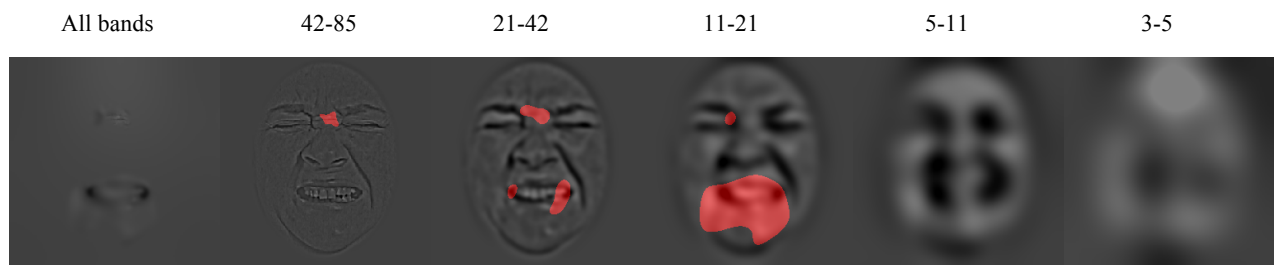
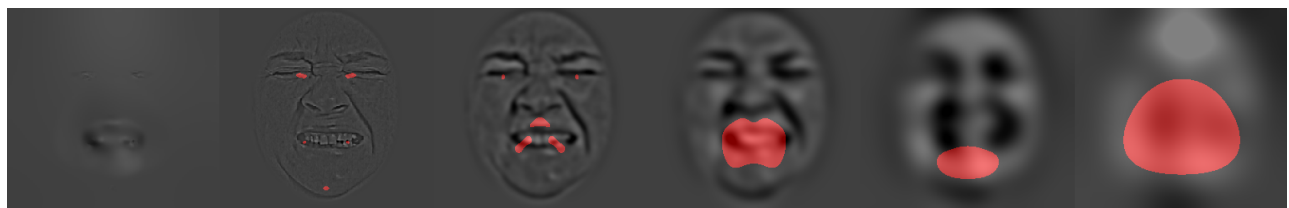


Figure 2. Classification images of the pain expression for the human observers (a) and the ideal observer (b). On the leftmost image, the facial areas that were significantly correlated with the correct identification of pain in each spatial frequency band were combined to create the “optimal” stimulus. The second image on the left up up to the rightmost image show, in red, the regions significantly correlated with accurate recognition in their corresponding spatial frequency band (indicated in cycle per face).



a.



b.

## REFERENCES

- Adolphs, R., F. Gosselin, et al. (2005). "A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage." Nature **433**(7021): 68-72.
- Adolphs, R., M. L. Spezio, et al. (2008). "Distinct face-processing strategies in parents of autistic children." Curr Biol **18**(14): 1090-1093.
- Adolphs, R., D. Tranel, et al. (2003). "Dissociable neural systems for recognizing emotions." Brain Cogn **52**(1): 61-69.
- Brainard, D. H. (1997). "The Psychophysics Toolbox." Spat Vis **10**(4): 433-436.
- Craig, K. D., K. M. Prkachin, et al. (1992). The facial expression of pain. Handbook of pain assessment, New York, NY, US: Guilford Press: 257-276.
- De Valois, R. L., H. Morgan, et al. (1974). "Psychophysical studies of monkey vision. 3. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers." Vision Res **14**(1): 75-81.
- Dotsch, R., D. H. Wigboldus, et al. (2008). "Ethnic out-group faces are biased in the prejudiced mind." Psychol Sci **19**(10): 978-980.

- Ekman, P. and W. V. Friesen (1975). *Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues*, Oxford, England: Prentice-Hall.
- Gosselin, F. and P. G. Schyns (2001). "Bubbles: a technique to reveal the use of information in recognition tasks." Vision Res **41**(17): 2261-2271.
- Hadjistavropoulos, T. and K. D. Craig (2002). "A theoretical framework for understanding self-report and observational measures of pain: a communications model." Behav Res Ther **40**(5): 551-570.
- Haxby, J. V., E. A. Hoffman, et al. (2000). "The distributed human neural system for face perception." Trends Cogn Sci **4**(6): 223-233.
- Hill, M. L. and K. D. Craig (2002). "Detecting deception in pain expressions: the structure of genuine and deceptive facial displays." Pain **98**(1-2): 135-144.
- Jackson, P. L., A. N. Meltzoff, et al. (2005). "How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy." Neuroimage **24**(3): 771-779.
- Kamachi, M., V. Bruce, et al. (2001). "Dynamic properties influence the perception of facial expressions." Perception **30**(7): 875-887.



- Kappesser, J. and A. C. Williams (2002). "Pain and negative emotions in the face: judgements by health care professionals." Pain **99**(1-2): 197-206.
- Kilts, C. D., G. Egan, et al. (2003). "Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions." Neuroimage **18**(1): 156-168.
- Kunz, M., S. Lautenbacher, et al. (2011). "Are both the sensory and the affective dimensions of pain encoded in the face?" Pain.
- LaBar, K. S., M. J. Crupain, et al. (2003). "Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain." Cereb Cortex **13**(10): 1023-1033.
- Lee, J., F. Gosselin, et al. (2011). "How do schizophrenia patients use visual information to decode facial emotion?" Schizophr Bull **37**(5): 1001-1008.
- Melzack, R. and H. Eisenberg (1968). "Skin sensory afterglows." Science **159**(3813): 445-447.
- Morrison, I., D. Lloyd, et al. (2004). "Vicarious responses to pain in anterior cingulate cortex: is empathy a multisensory issue?" Cogn Affect Behav Neurosci **4**(2): 270-278.
- Nielsen, K. J., N. K. Logothetis, et al. (2006). "Discrimination strategies of humans and rhesus monkeys for complex visual displays." Curr Biol **16**(8): 814-820.

- Pelli, D. G. (1997). "The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies." Spat Vis **10**(4): 437-442.
- Poole, G. D. and K. D. Craig (1992). "Judgments of genuine, suppressed, and faked facial expressions of pain." J Pers Soc Psychol **63**(5): 797-805.
- Preston, S. D. and F. B. de Waal (2002). "Empathy: Its ultimate and proximate bases." Behav Brain Sci **25**(1): 1-20; discussion 20-71.
- Price, D.D (1999). "Psychological Mechanisms of Pain and Analgesia." I.A.S.P. Press, Seattle, WA, 1999.
- Prkachin, K. and K. Craig (1995). "Expressing pain: The communication and interpretation of facial pain signals." Journal of Nonverbal Behavior **19**(4): 191-205.
- Prkachin, K. M. (2009). "Assessing pain by facial expression: facial expression as nexus." Pain Res Manag **14**(1): 53-58.
- Prkachin, K. M., S. Berzins, et al. (1994). "Encoding and decoding of pain expressions: a judgement study." Pain **58**(2): 253-259.
- Prkachin, K. M., P. E. Solomon, et al. (2007). "Underestimation of pain by health-care providers: towards a model of the

process of inferring pain in others." Can J Nurs Res **39**(2): 88-106.

Roy, S., C. Roy, et al. (2007). "A dynamic facial expression database." Journal of Vision **7**(9): 944.

Simon, D., K. D. Craig, et al. (2008). "Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and emotions." Pain **135**(1-2): 55-64.

Singer, T., B. Seymour, et al. (2004). "Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain." Science **303**(5661): 1157-1162.

Smith, M. L., G. W. Cottrell, et al. (2005). "Transmitting and decoding facial expressions." Psychol Sci **16**(3): 184-189.

Tjan, B. S., Braje, W. L., Legge, G. E., & Kersten, D. (1987). "Human efficiency in for recognizing 3-D objects in luminance noise." Vision Research **35**: 3053–3069.

Vachon-Preseau, E., M. O. Martel, et al. (2011). "The multilevel organization of vicarious pain responses: effects of pain cues and empathy traits on spinal nociception and acute pain." Pain **152**(7): 1525-1531.

Watson, A. B. and D. G. Pelli (1983). "QUEST: a Bayesian adaptive psychometric method." Percept Psychophys **33**(2): 113-120.

Williams, A. C. (2002). "Facial expression of pain: an evolutionary account." Behav Brain Sci **25**(4): 439-455; discussion 455-488.

## **CHAPITRE 3**

### **Article 2**

## **A refined examination of the facial cues contributing to vicarious effects on self-pain and spinal responses**

Cynthia Roy<sup>1,2</sup>, Daniel Fiset<sup>3</sup>, Vincent Taschereau-Dumouchel<sup>4</sup>,  
Frédéric Gosselin<sup>1,2</sup> & Pierre Rainville<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup> Département de psychologie, Université de Montréal, Montreal, QC,  
Canada

<sup>2</sup> Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Université de  
Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Département de psychoéducation et de psychologie, Université du  
Québec en Outaouais, Gatineau, Canada

<sup>4</sup> École de Psychologie, Université Laval, Québec, Canada

<sup>5</sup> Département of stomatology, Université de Montréal, Montreal, QC,  
Canada

<sup>6</sup> Centre de Recherche de l'Institut Universitaire de Gériatrie de Montréal,  
Montreal, QC, Canada

**Abstract**

Vicarious pain has been shown to enhance the observers' nociceptive reactivity and pain perception. Here, we exposed healthy participants to specific parts of pain facial expressions to further investigate the components of pain expressions that are sufficient to induce this modulation. We created two stimuli classes: one containing the more useful information for the identification of pain facial expression (diagnostic) and one containing the least useful information (anti-diagnostic). Twenty-eight normal volunteers received electrical stimulation of the sural nerve while they viewed these visual stimuli. Subjective ratings (intensity and unpleasantness) and the nociceptive flexion reflex (NFR) evoked by the shock were recorded. Results show that diagnostic stimuli lead to higher pain subjective ratings than the anti-diagnostic ones, but stimulus classes had no significant impact on the NFR. A control experiment showed that our stimuli were given very low valence and arousal ratings compared to stimuli previously used to demonstrate the effect of emotional pictures on pain. Thus, the results are unlikely to be explained by emotions felt by the observer and suggest a vicarious facilitation of supraspinal pain processing induced by the key features underlying the recognition of pain

expressions. These results provide further support to the perception-action model of empathy.

## **Introduction**

Beyond its sensory component, pain is a complex subjective and emotional experience associated with the mobilization of resources to protect the physical integrity of the sufferer by signaling a threat and by evoking appropriate protective reactions. Many factors have been shown to influence the interpretation of the bottom-up signal originating from potential tissue damage. Attention, distraction, emotions, mood, expectation and anticipation can modulate the sufferer's experience of pain and the corresponding brain activation (Apkarian, Bushnell et al. 2005). Several imaging studies have also demonstrated that brain activation produced by the perception of pain in others partly overlaps with the response to self-pain (reviewed in Jackson, Rainville et al. 2006; Lamm, Decety et al. 2011). This vicarious pain priming effect is thought to reflect the automatic activation of a mental representation of pain and to constitute an adaptive response induced by the detection of a potential threat in ones' environment (Williams 2002).

Vicarious facilitation of self-pain and spinal motor responses



(nociceptive flexion reflex, NFR) induced by acute electrical stimulations has recently been examined in response to static images of limbs in nociceptive situations and to pictures of pain facial expressions (Vachon-Preseu, Martel et al. 2011). In a separate study, we examined the spinal (NFR), subjective (ratings), and expressive (corrugator contraction) responses to the painful shocks following dynamic clips of pain expressions (Mailhot, Vachon-Preseu et al. 2012). These studies confirmed the vicarious facilitation of pain responses when observing pain in others, although the magnitude of this effect was influenced by the pain process measured (spinal vs supraspinal), the information signaling pain in others (sensory vs emotional and static vs dynamic expression), and on the dispositional empathy reported by the participants.

Facial expression of pain is the cue observers believe to be the most reliable to judge someone else's pain, giving this output channel a special status in the pain communication process (Poole and Craig 1992). The specific information subtending the recognition of pain facial expression has been explored (Roy, Roy et al. 2008) using the Bubbles technique (Gosselin and Schyns 2001). Participants were presented with randomly sampled regions of faces expressing six basic expressions of emotion (anger, disgust, fear, happy, sadness,

and surprise) plus neutral and pain, and were asked to identify the emotion. The correlation between performance accuracy and the location of the regions of the face that were revealed on each pain trial showed which regions participants efficiently used to discriminate pain from the other facial emotions (figure 1).

In the present study, we tested further the vicarious pain modulation effect using stimuli that specifically show or mask pain-discriminative facial features. We manipulated our stimuli in order to minimize or maximize their “diagnosticity” (the quantity of discriminative information they revealed) to verify what properties of the facial expression induce pain modulation. More precisely, we investigated pain perception and the NFR of participants who viewed partially masked expressions of pain based on the contribution of the facial information to the recognition of pain expression to test whether the facial cues that are most important to discriminate the facial expression of pain from the other facial emotions are sufficient to modulate induce pain perception. Half of the stimuli were partly masked to reveal only the areas of the face that contributed most to the recognition of pain expression while the other half showed only those associate with the lowest recognition accuracy. Immediately after viewing a visual stimulus, participants

received a brief electrical stimulation to the sural nerve and were asked to rate its intensity and unpleasantness. In a follow-up experiment, we measured the subjective valence and arousal perceived and induced by the diagnostic and anti-diagnostic facial stimuli to assess the possibility that vicarious pain effects could reflect emotional modulation.

## **Materials and Methods**

### *Participants*

The target sample size of the study was set to 24 based on a previous study using a similar method (Mailhot, Vachon-Presseau et al. 2012). Thirty-seven Caucasian participants (15 males) between 19 and 32 years-old ( $M = 24.12 \pm 3.28$ ) were recruited to participate in the study using advertisement posted on the campus of the Université de Montréal. All were healthy without any chronic pain, psychiatric or neurological disorder and no one took analgesic medication in the 24 hours preceding the experiment. Of the 37 subjects, 8 were excluded during the reflex assessment procedure (unstable or undetectable reflex response) and 5 more were excluded from the analysis of the NFR because of habituation observed during the experiment. The final sample therefore comprised 29 subjects for the analysis of pain ratings and 24 for the analysis of the NFR. All experimental procedures conformed to the

standards set by the latest revision of the Declaration of Helsinki and were approved by the Research Ethics Board of the Research Centre of the *Institut universitaire de gériatrie de Montréal*. All participants gave written informed consent, acknowledging their right to withdraw from the experiment without prejudice and received compensation of \$15/hour for their travel expenses, time and commitment.

#### *Apparatus*

A computer running E-Prime 1.1 (Psychology Software Tools, Inc.) controlled the presentation of the visual stimuli, triggered the electrical stimulations and recorded the pain ratings (intensity and unpleasantness) of the participants after each shock. Electrical stimulations were produced by a Grass stimulator (model S48) and delivered by a bipolar stimulating electrode connected through an optical isolation unit. Physiological signals were amplified, filtered and sampled at 1000 Hz with a BIOPAC MP150 system. A second computer ensured the monitoring and recording of all signals using AcqKnowledge 3.8.1 (BIOPAC Systems, Inc.).

#### *Visual stimuli*

Facial expressions of 10 actors (5 males) were selected from a standardized and validated database (initiated by Simon, Craig et al. 2008, and further enlarged and modified by Roy, Roy et al. 2007) based on the strong intensity and the high discriminability of the pain expression (i.e. minimal confusion with other emotions). The stimuli were spatially aligned on the average coordinates of the eyes and nose, and the luminance was calibrated. The final grayscale stimuli had a resolution of 256 x 256 pixels and spanned about 5.7 x 5.7 deg of visual angle. The final stimuli were empirically validated through participants' rating of the intensity of the emotions displayed in each stimulus on continuous scales.

Two visual masks were then created according to the results of the Bubbles experiment of Roy et al. (2008) to produce a total of 20 visual stimuli (i.e. 2 for each pain expression selected). Masks were designed based on the correlation calculated at each pixel between facial discrimination accuracy (six basic emotions plus pain and neutral) and the availability of information on each trial (figure 2). Two sets of stimuli were built: the “diagnostic” masks showed the most useful information for the identification of the facial expression of pain (i.e., the pixels most associated with accurate discrimination; i.e. above the 80th percentile) and the “anti-diagnostic” masks showed only the least useful information to

resolve pain categorization (i.e., the pixels the least associated with accurate discrimination; i.e. under the 20th percentile).

### *Measures*

*Nociceptive flexion reflex (NFR)*. The NFR was elicited and measured using a standard procedure (as reviewed in Sandrini, Serrao et al. 2005). Transcutaneous electrical stimulations were induced using a bipolar surface electrode placed on the skin of the left ankle over the retromalleolar path of the sural nerve. Stimulations consisted of ten 1ms rectangular wave pulses given in 30 ms at 333 Hz. The NFR was recorded using two Ag-AgCl electrodes placed on the brevis head of the left biceps femoris above the popliteal fossa after the skin was cleaned with alcohol and gently abraded with *NuPrep* to obtain an impedance  $<10\text{ k}\Omega$ . A third electrode placed over the medial side of the tibial tuberosity served as the ground. Participants sat on an inclined chair with a pillow under the knees to ensure lower limbs relaxation. The angle of the knee was maintained at  $120^\circ$ . The NFR threshold was determined for each participant using a staircase method (Willer 1977). Stimulations were delivered every 6 seconds with a gradually increased intensity until the stimulus intensity evoking a clear NFR was found. Then, stimulus intensity was slowly

decreased until the NFR completely disappeared. This increase-decrease cycle was repeated until a stable threshold was found (at least 3 times). Finally, series of stimulations were administered at 120% of the threshold to test the reflex stability and insure that participant tolerated this intensity. Eight participants did not show a clear and reliable reflex (undetected or unstable) in this phase and were excluded from the study ( $n=8$ ). The mean intensity of the shock used to induce the reflex was  $18,0 \pm 8,0$  mA.

*Interpersonal Reactivity Index (IRI).* The IRI (IRI, Davis, 1980), a measure of empathy, was administered. This 28 items questionnaire includes four subscales: fantasy, perspective taking, empathic concern and personal distress. This instrument was chosen for its known valid assessment of the different aspects of empathy (see Davis, 1983).

*Subjective ratings.* During the experiment, participants rated the perceived intensity and the unpleasantness of the electrical stimulations. After each shock, a visual analog scale appeared on the screen. Using a computer mouse, participants were instructed to move the cursor on the screen up to the level corresponding to their experience. On the first scale, they rated the intensity of the sensation from 0 (*no sensation*) to 100 (*pain threshold*), and to 200

(*extremely intense pain*). On the second scale, they rated the unpleasantness of the sensation from 0 (*not unpleasant at all*) to 100 (*extremely unpleasant*).

### *Procedure*

All participants were provided with an overview of the procedure before they read and signed the consent form. Electrodes were installed and subjects were explained the rating scales with a written description of intensity and unpleasantness dimensions (Price, McGrath et al. 1983; Price, Harkins et al. 1987; Rainville, Fine et al. 1992). They were asked to stay still and quiet during the experiment. Participants were informed that the experiment comprised four parts. In the first part, the pain threshold was determined with stimulations of various intensities given every 6 seconds. The second part was the main experiment. Participant sat approximately 70 cm away from a computer monitor. All trials comprised the following sequence of events (Figure 3): “Ready?” was shown for 1 second, a fixation cross appeared at the center of the screen for a duration of 5 to 8s; then, a stimulus displaying either the diagnostic or the anti-diagnostic regions of faces expressing pain was presented at the center of the screen for a duration of 1s; immediately after, the screen became homogenously



black and a 30-ms electrical stimulation was administered; followed by the intensity and unpleasantness visual analog scales appearing on the screen. In order to prevent habituation we introduced some uncertainty relative to the intensity of the shock; the intensity of the stimulus was varied pseudo-randomly between high intensity (120% of the reflex threshold intensity) and low intensity (60% of the threshold). Participants were not told that there were only 2 stimulus intensities and were asked to rate the perceived intensity and unpleasantness of the electric shock as accurately as possible. In total, 90 electrical stimulations were administered, 60 of high intensity and 30 of low intensity for an approximate duration of half an hour with a pause of 5 minutes in the middle. The 20 visual stimuli were pseudo-randomly presented four or five times to each participant. To ensure that participants were paying attention to the stimuli, the subjects were told that in the third part of the study they would take part in a recognition task to evaluate their recall of the visual stimuli. In the fourth part, participants were asked to categorize the valence (positive, negative, or neutral) of the 20 stimuli. Participants were then debriefed and thanked for their participation.

#### *Data analysis*

*Nociceptive flexion reflex.* The magnitude of the NFR produced by

the 60 high intensity stimuli was scored following standard methods (see Willer, 1977 and Sandrini et al., 2005). The integral of the rectified EMG signal during the 90 ms pre-stimulation baseline was subtracted from the 90 to 180 ms post-stimulation integrated and rectified EMG activity. Data were then transformed into Z-scores within each participant to account for individual differences in the absolute magnitude of responses (Rhudy, Williams et al. 2005). Twenty-four out of the 29 participants tested were included in the NFR analyses; five were excluded because an important habituation effect during the experiment resulting in the absence of the NFR in the majority of the trials.

*Statistical analysis.* The Z-normalized NFR, and the intensity and unpleasantness ratings were averaged within each participant for each diagnosticity condition (diagnostic and anti-diagnostic). Note that NFR responses were obtained only at supra-threshold intensity (120% of NFR threshold) so that only the high intensity condition is considered for this variable. A paired T-test was used to compare the means of each condition for NFR. The impact of both stimulation intensity and diagnosticity condition on the ratings were tested using 2X2 repeated measures ANOVAs with the shock intensity (60% or 120% of the NFR threshold) and stimuli condition

(diagnostic or anti-diagnostic) as the within-subject factors. Partial eta-squares ( $\eta_p^2$ ) were calculated to evaluate the effect sizes. All analyses were performed with SPSS 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA).

*Analysis of stimuli valence and arousal ratings.* Valence and arousal ratings obtained in the post-experimental phase were first normalized across all trials for each individual using Z-scores. Individual means were calculated for each of the five categories. In order to compare the diagnostic and anti-diagnostic conditions of the present study to the negative and positive valence conditions of the *International Affective Picture System* (IAPS) stimuli, we performed two-way repeated-measure ANOVAs contrasting stimuli sets (masked faces Vs IAPS) and categories (diagnostic masks and IAPS images with negative valence Vs anti-diagnostic masks and IAPS images with positive valence).

*Post-experimental assessment of the valence and arousal of the visual stimuli in an independent sample*

Following the results of the categorical valence assessment performed at the end of the main experiment, a second group of 10 healthy participants (5 men and 5 women; mean  $\pm$ SD age = 22.5  $\pm$ 4,0) was recruited to document more precisely the affect

associated with the masked pain expressions using parametric ratings of the perceived and felt valence and arousal. In order to compare the affect associated with our 20 stimuli (described in section “Visual Stimuli”) relative to that induced by the stimuli typically used in studies investigating the effects of emotions on pain, we also included the set of 8 positive, 8 negative and 8 neutral images used by Rhudy et al. (2005), taken from the International Affective Picture System (IAPS; Bradley & Lang, 2007). The full set of stimuli therefore included two stimuli sets (masked expressions and IAPS pictures) in the following categories: (1) diagnostic mask of pain face, (2) anti-diagnostic mask of pain face, (3) IAPS – negative emotion, (4) IAPS – positive emotion and (5) IAPS – neutral emotion.

Stimuli were presented for 1-sec, as in the main experiment (but without electric shocks) and following a pseudorandom order balancing categories. Each stimulus was presented twice, in separate blocks with the block order counterbalanced across subjects. In half of the blocks, subjects were asked to provide ratings of the valence and arousal depicted in the image after each stimulus (perceived valence and arousal). In the other half of the blocks, they were asked to indicate the emotional valence and

arousal they *subjectively felt* while looking at one specific picture (induced valence and arousal). Ratings were performed using an unbounded magnitude-estimation scale (Stevens 1956; Gracely, McGrath et al. 1978) and without time pressure. Subjects were specifically told that they should use their own numerical scale with the only constraint that neutral should be given a value of 0 on the valence scale and that arousal could not be given negative values. This rating method was chosen because it is less vulnerable to ceiling effects and thereby insures a better sensitivity to differences in the relative level of valence and arousal of each category. The impact of both stimuli category (positive vs negative only) and stimuli set (ours and IAPS) on the ratings were tested using 2X2 repeated measures ANOVAs; one for each the perceived and felt valence and arousal. Then the appropriate contrasts were performed.

## ***Results***

### ***Subjective ratings***

Both effects of shock intensity and visual stimulus condition reached significance on shock intensity subjective ratings (respectively  $F(1,28) = 61.7$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.7$  and  $F(1,28) = 329.4$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.9$ ). There was also a significant interaction between the intensity of the electrical stimulation and the visual stimulus

condition on perceived intensity ( $F(1,28) = 154.9, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.9$ ). For the high intensity stimulations, the diagnostic visual stimuli led to higher intensity ratings than the anti-diagnostic ones ( $t(28) = 24.1, p < 0.001$ ). The same effect was observed within the low shock intensity condition ( $t(28) = 2.4, p = 0.022$ ; *figure 4a*) but the amplitude of the difference was much less than for the high intensity shocks.

There was a main effect of the shock intensity on shock-unpleasantness ratings ( $F(1, 28) = 8.3, p = 0.000, \eta_p^2 = 0.8$ ); high intensity stimulations being rated as more unpleasant. There was also a significant main effect of the visual stimulus conditions ( $F(1, 28) = 5.4, p = 0.028, \eta_p^2 = 0.2$ ) with the diagnostic visual condition leading to higher shock unpleasantness than the anti-diagnostic condition. (*figure 4b*). The interaction between shock intensity and diagnosticity was not significant on unpleasantness ( $F(1, 28) = 0.0, p = 0.997$ ). Note that no significant correlation was found between subscales of the IRI and changes in ratings of intensity or unpleasantness induced by the diagnostic Vs the anti-diagnostic stimuli.

### *Nociceptive flexion reflex*

A paired t-test revealed that there was no significant difference ( $t(23) = 1.4, p=0.170$ ) between the Z-scores mean of the diagnostic and anti-diagnostic conditions for the painful (120% of the NFR threshold) trials although the means were in the expected direction (figure 4c). No significant correlation was found between subscales of the IRI and the individual difference in the amplitude of the NFR induced by the diagnostic Vs the anti-diagnostic stimuli.

#### *Stimuli valence*

At the end of the experiment, participants judged the diagnostic stimuli as presenting a negative emotional valence in 93.7 % of the trials (positive valence in 1.48% of the trials and neutral in 4.81%) while anti-diagnostic stimuli were judged as expressing a positive emotional valence for 67,0% of the stimuli (15.19% negative and 17.78% neutral).

#### *Post-experimental independent assessment of valence and arousal*

Results of the parametric assessment of the valence and arousal associated with the diagnostic and anti-diagnostic masks are reported in Table 1, along with those of the IAPS pictures previously used to test the effect of emotions on pain. The ANOVAs performed on the post-experimental ratings confirmed the differences between the diagnostic and anti-diagnostic facial

stimuli and the positive and negative IAPS pictures. The same significant effects and interactions were found on induced/felt and perceived emotions (valence and arousal); only the statistical results on felt emotions are reported in details here. The main effect of picture category (positive vs negative) reached significance ( $F(1,9) = 145.2, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.9$ ) whereas the main effect of stimuli set (masked pain faces vs IAPS pictures) was not significant ( $F(1,9) = 2.1, p = 0.184$ ). The differences in valence were consistently much larger between the negative and positive IAPS picture categories than the diagnostic and anti-diagnostic images of pain expression (interaction between stimulus set and category:  $F(1,9) = 15.0, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.6$ ). All pairwise comparisons of felt valence reached significance (all  $p$ 's  $< 0.05$ ), including the contrast between diagnostic and anti-diagnostic stimuli ( $t(9) = 4.9, p = 0.001$ ), confirming the more negative emotions associated with the diagnostic compared the anti-diagnostic stimuli. However, the diagnostic pain-expression stimuli induced much less negative valence than the negative IAPS stimuli ( $t(9) = -2.5, p = 0.035$ ) and anti-diagnostic pain-expression stimuli induced much less positive valence than the positive IAPS stimuli ( $t(9) = -4.8, p = 0.001$ ). A contrast between the difference in valence between diagnostic and anti-diagnostic stimuli ( $\Delta$  Masked expression = Diagnostic – Anti-



diagnostic) vs. the negative and positive IAPS pictures ( $\Delta$  IAPS = Positive – Negative) revealed a highly significant effect ( $t(9) = -8.5$ ,  $p < 0.001$ ) consistent with the much larger effect of IAPS (2,3 SD) than pain faces stimuli (1,0 SD) on valence (see Table 1).

Arousal also differed significantly between stimuli sets with much higher values observed for the IAPS pictures than for the masked pain expressions ( $F(1,9) = 23.1$ ,  $p = 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.7$ ). No significant arousal difference was found between diagnostic and anti-diagnostic masks of pain expressions or between negative and positive IAPS pictures (main effect of stimuli valence:  $F(1,9) = 0.2$ ,  $p = 0.707$ ). The interaction was not significant ( $F(1,9) = 4.0$ ,  $p = 0.08$ ).

#### ***4. Discussion***

Showing parts of pain faces that vary in their diagnosticity was sufficient to modulate the supra-spinal processing of pain. When participants saw facial expressions of pain masked in order to reveal only the 20% most useful information for pain recognition, they rated the sensation induced by an electrical stimulation of the sural nerve as more intense and more unpleasant than while looking at the same face but masked to show only the 20% least diagnostic pixels to recognize pain (anti-diagnostic). For the intensity ratings, the effect was not specific to painful electrical stimulation, but the

magnitude of the effect was larger in high intensity (120%) shock than for the low intensity (60%) ones. Finally, the nociceptive flexion reflex was not modulated significantly.

The same participants judged that the diagnostic masked faces were expressing a negative emotion, whereas the anti-diagnostic masked faces were expressing a positive emotion. To further investigate the properties of these visual stimuli, another experiment was performed with different observers to compare the valence and arousal expressed and induced by our stimuli with stimuli typically used in emotional modulation experiments (IAPS stimuli). The difference between the diagnostic and anti-diagnostic stimuli ratings was significant, but much smaller than the one between negative and positive IAPS pictures. For the arousal ratings, there was a difference only between the two stimuli groups; the IAPS stimuli leading to much higher arousal induction and perception.

*Potential mechanisms: Is it emotion? Attention?*

There are several potential mechanisms that might contribute to the observed effects. One possible explanation relies on the well-known effect of emotions on pain. Rhudy and colleagues (2008) have demonstrated that the valence of pictures used to modulate pain

explains the direction of the modulation (negative valence enhancing pain responses and positive valence inhibiting pain responses) whereas the arousal of the same stimuli explains the amplitude of the modulation (see an independent confirmation of the interaction between valence and arousal on pain and NFR modulation in Roy, Lebuis et al. 2011). Here, the facial stimuli showing the diagnostic information to recognize pain expression were rated as more negative than those showing the anti-diagnostic information, which were perceived as positive. This is consistent with the emotion modulation model. However, in the post-experimental control experiment, participants rated our stimuli as expressing and inducing a significantly smaller valence and much less arousal activation than typical IAPS stimuli used for emotional modulation experiments. Therefore, the emotional induction produced by our stimuli was weaker than that typically produced in previous emotional pain modulation studies (also see Roy, Piche et al. 2009; Roy, Lebuis et al. 2011). Plus, the effect size of the supraspinal modulation was comparable to the ones typically found in similar previous studies on emotions (e.g. Rhudy et al 2005). Therefore, without a confirmation that our stimuli elicited strong emotions, it appears very unlikely that the present results only reflect the emotional modulation of pain.

Another result that contrasts with the usual effects produced by emotions on pain is the modulation found here on both the perceived intensity and unpleasantness of both painful and non-painful shocks. This suggests a generalized influence on sensory processes rather than a more specific influence on pain perception or more specifically on pain affect. Typically, when both intensity and unpleasantness measures are taken, the emotional modulation of pain is much stronger in, or is specific to, unpleasantness ratings (Rainville, Carrier et al. 1999; Villemure, Slotnick et al. 2003; Rainville, Bao et al. 2005). Considering all of the above, the emotional modulation explanation appears insufficient to explain the supra-spinal modulation found here.

Directing attention away from pain is another very robust way to produce analgesic effects (e.g. Miron, Duncan et al. 1989). Typically, these effects are found on intensity ratings and secondarily on unpleasantness (Villemure and Bushnell 2002; Villemure, Slotnick et al. 2003). However, one would expect that negatively valenced pain faces (diagnostic condition) might have a stronger distracting effect on shock pain. Here the observed effects are in the opposite direction so a simple distraction effect is unlikely.

*The vicarious modulation of pain*

Besides emotion and attention, a third potential mechanism is provided by the perception-action model of empathy (Preston and de Waal 2002). This model postulates that the observation of actions or states (including pain, see Jackson, Meltzoff et al. 2005) activates the same neural structures implicated in the first-person experience. The pain communication mechanism is a complex phenomenon and includes pain expression, pain recognition and ultimately - according to the perception-action model - the mapping of the perceived expression on the observer's own neural representations. It seems plausible that the resonance of pain communication on the observer's own neural system induce a priming of the pain responses for the diagnostically masked stimuli.

The present results are congruent with those of Godinho and colleagues who demonstrated very convincingly that emotion modulation is insufficient to account for some vicarious pain facilitation effects. Compared to aversive pictures with equivalent valence and arousal but without somatic content, images representing human nociception were associated with stronger increases in both pain and in the late somatosensory brain evoked-potentials (SEPs; Godinho, Magnin et al. 2006). As previous studies examining the effects of negative emotions on pain have generally included images with and without somatic content (e.g. Roy, Piche

et al. 2009), it is possible that previous effects associated with negative emotions might have been driven largely by vicarious pain processes associated with those somatic images. Consistent with this, Godinho suggested that the observer representation of someone else's suffering might act through an automatic empathy-induced activation of pain circuitries that facilitate self-pain.

#### *Study limitations*

There are several issues raised by the present study in relation to prior literature that merit further investigation. First, we relied on a post-hoc assessment of valence and arousal to show that the present stimuli elicited much weaker valence and arousal than the stimuli typically used to induce emotions. Ideally, a more direct comparison of the IAPS and the present masked facial expression of pain would be necessary to determine to what extent the emotional induction explanation could be discarded (i.e. comparison of stimuli with same valence and arousal ratings). More importantly, pain faces should be compared to other negative emotional faces with comparable valence and arousal (e.g. fear, sadness, disgust) to test for the specificity of pain-related processes. Second, contrary to our expectation, the vicarious facilitation of the NFR was not confirmed here. Another study using unmasked stimuli failed to show a robust modulation of the NFR with facial expression of pain so it seems

unlikely that this absence of spinal modulation is due to the visual masking (Vachon-Préseau, Martel et al. 2011) In contrast, the modulation of the NFR was robust in a more recent study using dynamic expressions (Mailhot, Vachon-Préseau et al. 2012). So, there might be a necessary contribution of dynamic visual info to the priming of spinal responses. Some authors suggested that brain structures involved in facial expression processing show enhanced activation to dynamic compared to static facial expressions (LaBar, Crupain et al. 2003; Sato, Kochiyama et al. 2004). The various conditions under which vicarious pain-effects are induced must be further examined across a variety of communication conditions and pain measures to establish the minimal and the optimal conditions leading to self-pain modulation.

## ***5. Conclusion***

The visual features efficiently used for the recognition of pain expressions are sufficient to induce a vicarious facilitation of self-pain as shown by the higher reports of felt intensity and unpleasantness. This implies that pain communication may have an impact on the observer even when visual interference masks up to 80% of the face, as long as key diagnostic information is available. The well-known emotion induction effect appears insufficient to explain the present modulation. Consistent with the perception-

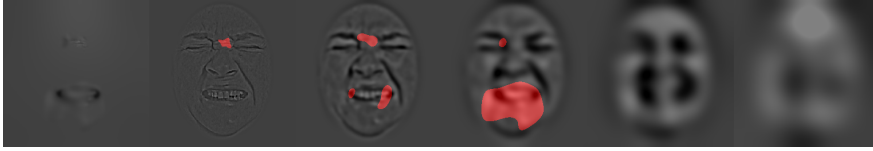
action model, these effects are thought to reflect a supra-spinal vicarious priming of self-pain via the mapping of others' pain states on the observer's own pain system. This basic research on the key features of pain communication and the detailed assessment of the impact of those cues on the observer is fundamental to our understanding of pain communication and its complex consequences.



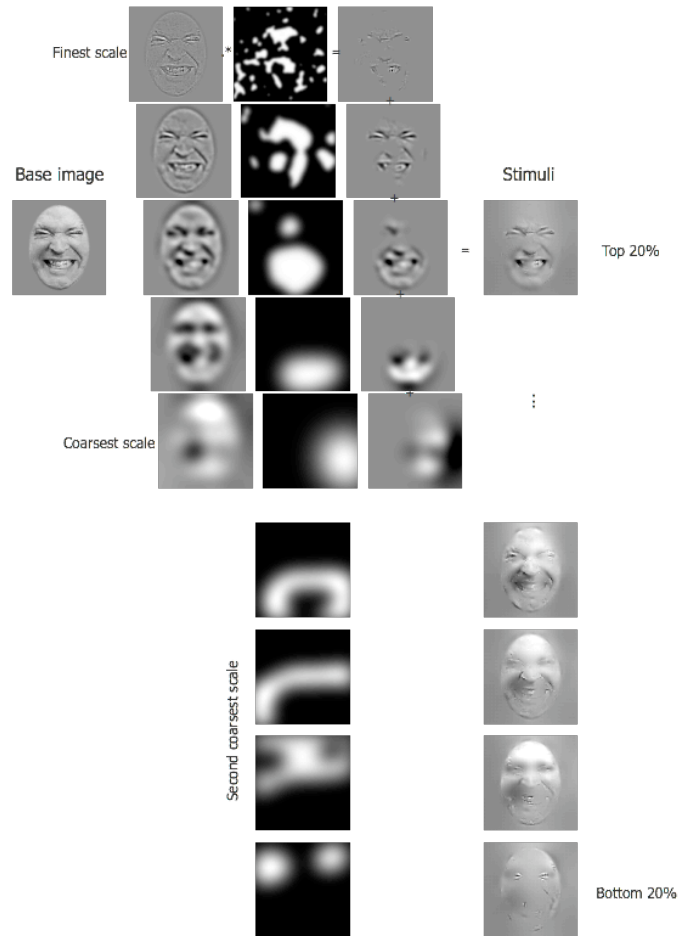
Table 1. Mean (SD) normalized ratings (Z-scores) of perceived and felt valence and arousal reported in response to the facial stimuli showing pain diagnostic and anti-diagnostic information, and to emotional pictures (IAPS) previously used to show an effect of emotion on pain

	Perceived						Felt					
	Valence			Arousal			Valence			Arousal		
	Anti-diagnostic.	Diagnostic	-	Anti-diagnostic.	Diagnostic	-	Anti-diagnostic.	Diagnostic	-	Anti-diagnostic.	Diagnostic	-
Masked expression	0.45 (0.32)	-0.69 (0.35)	-	-0.38 (0.35)	-0.05 (0.56)	-	0.47 (0.32)	-0.53 (0.39)	-	-0.32 (0.49)	-0.08 (0.58)	-
$\Delta$ Masked expression <sup>1</sup>	1.13 (0.63)			0.35 (0.29)			0.99 (0.64)			0.36 (0.26)		
	Positive	Negative	Neutral	Positive	Negative	Neutral	Positive	Negative	Neutral	Positive	Negative	Neutral
IAPS <sup>2</sup>	1.24 (0.38)	-1.3 (0.40)	0.11 (0.18)	0.88 (0.54)	1.01 (0.66)	-1.01 (0.29)	1.23 (0.32)	-1.04 (0.43)	0.14 (0.22)	0.83 (0.62)	0.69 (0.57)	-1.01 (0.29)
$\Delta$ IAPS <sup>3</sup>	2.54 (0.67)			0.43 (0.31)			2.27 (0.71)			0.37 (0.42)		

1.  $\Delta$  Masked expression = Diagnostic – Anti-diagnostic
2. IAPS pictures selected based on Rhudy et al. (2005)
3.  $\Delta$  IAPS = Positive – Negative



*Figure 1.* Representation of the diagnostic information for the recognition of the static facial expression of pain. Left image: the areas of the face significantly correlated with accurate recognition are revealed in the appropriate spatial frequency band (all spatial frequencies combined). From 2<sup>nd</sup> left: the same information revealed for each frequency bands. From left to right: 42-85, 21-42, 11-21, 5-11 and 3-5 cycle per face. Red areas reveal the information significantly correlated with correct recognition of pain expressions. From Roy et al., (in preparation).



*Figure 2.* Creation of the stimuli. Up: The original facial expression of pain was decomposed in five spatial frequency scales (left column). Then, the 20% mostly correlated pixels across all scales were extracted to create a bubbles mask (middle column). The first and second columns were multiplied and resulted in a picture revealing the pixels mostly correlated (top 20%) with a good identification for each scales (third column). The sum of all these scales consisted of the final stimulus for the top 20% pixels. Bottom: The same procedure was done for the four other quintile of correlation with good identification. Here is illustrated the mask of the second coarsest scale for each quintile.

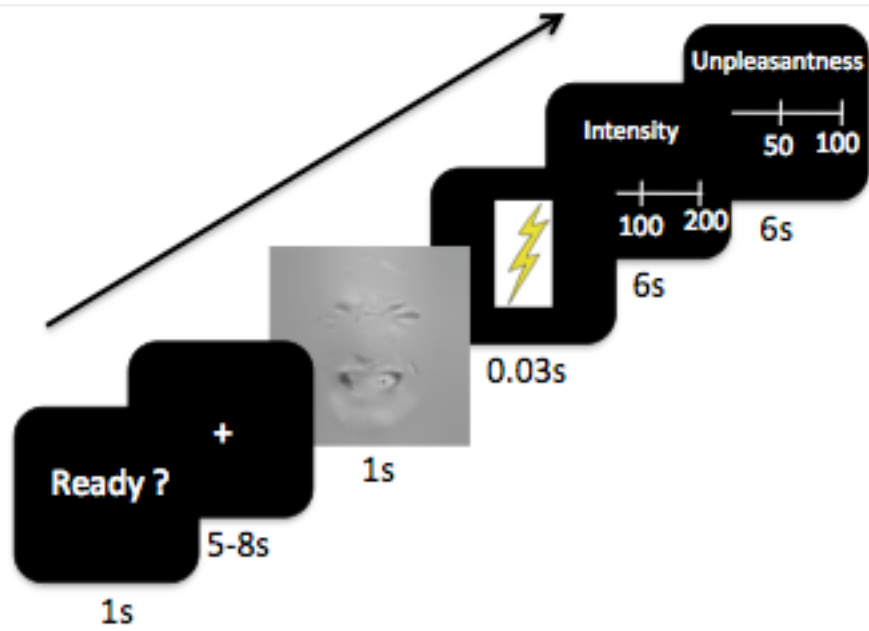
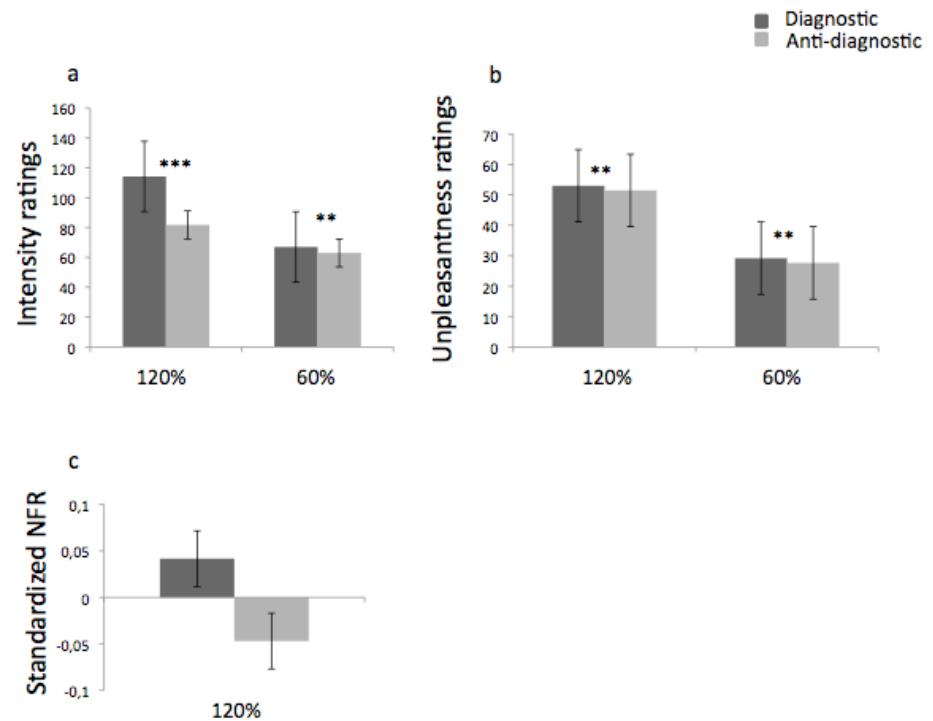


Figure 3. Sequence of events constituting one trial.



*Figure 4.* Effects of diagnosticity for the mean (SEM) subjective ratings (a, b) and NFR (c) for painful (120% of the NFR threshold) and non painful (60% of the NFR threshold) electrical stimulations. \*\* $p \leq 0.05$ ; \*\*\* $p \leq 0.001$ . Note that error bars reflect between-subject variance and that statistical tests are based on within-subject effects between conditions (see text).

- Apkarian, A. V., M. C. Bushnell, et al. (2005). "Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease." Eur J Pain **9**(4): 463-484.
- Lang, P.J., Bradley, M.M., & Cuthbert, B.N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual*. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.
- Godinho, F., M. Magnin, et al. (2006). "Emotional modulation of pain: is it the sensation or what we recall?" J Neurosci **26**(44): 11454-11461.
- Gosselin, F. and P. G. Schyns (2001). "Bubbles: a technique to reveal the use of information in recognition tasks." Vision Res **41**(17): 2261-2271.
- Gracely, R. H., F. McGrath, et al. (1978). "Ratio scales of sensory and affective verbal pain descriptors." Pain **5**(1): 5-18.
- Jackson, P. L., A. N. Meltzoff, et al. (2005). "How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy." Neuroimage **24**(3): 771-779.
- Jackson, P. L., P. Rainville, et al. (2006). "To what extent do we share the pain of others? Insight from the neural bases of pain empathy." Pain **125**(1-2): 5-9.

- LaBar, K. S., M. J. Crupain, et al. (2003). "Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain." Cereb Cortex **13**(10): 1023-1033.
- Lamm, C., J. Decety, et al. (2011). "Meta-analytic evidence for common and distinct neural networks associated with directly experienced pain and empathy for pain." Neuroimage **54**(3): 2492-2502.
- Mailhot, J. P., E. Vachon-Presseau, et al. (2012). "Dispositional empathy modulates vicarious effects of dynamic pain expressions on spinal nociception, facial responses and acute pain." Eur J Neurosci **35**(2): 271-278.
- Miron, D., G. H. Duncan, et al. (1989). "Effects of attention on the intensity and unpleasantness of thermal pain." Pain **39**(3): 345-352.
- Poole, G. D. and K. D. Craig (1992). "Judgments of genuine, suppressed, and faked facial expressions of pain." J Pers Soc Psychol **63**(5): 797-805.
- Preston, S. D. and F. B. de Waal (2002). "Empathy: Its ultimate and proximate bases." Behav Brain Sci **25**(1): 1-20; discussion 20-71.

- Price, D. D., S. W. Harkins, et al. (1987). "Sensory-affective relationships among different types of clinical and experimental pain." Pain **28**(3): 297-307.
- Price, D. D., P. A. McGrath, et al. (1983). "The validation of visual analogue scales as ratio scale measures for chronic and experimental pain." Pain **17**(1): 45-56.
- Rainville, P., Q. V. Bao, et al. (2005). "Pain-related emotions modulate experimental pain perception and autonomic responses." Pain **118**(3): 306-318.
- Rainville, P., B. Carrier, et al. (1999). "Dissociation of sensory and affective dimensions of pain using hypnotic modulation." Pain **82**(2): 159-171.
- Rainville, P., J. S. Feine, et al. (1992). "A psychophysical comparison of sensory and affective responses to four modalities of experimental pain." Somatosens Mot Res **9**(4): 265-277.
- Rhudy, J. L., A. E. Williams, et al. (2005). "Affective modulation of nociception at spinal and supraspinal levels." Psychophysiology **42**(5): 579-587.
- Rhudy, J. L., A. E. Williams, et al. (2008). "Emotional control of nociceptive reactions (ECON): do affective valence and arousal play a role?" Pain **136**(3): 250-261.



- Roy, C., S. Roy, et al. (2008). "Recognizing static and dynamic facial expressions of pain : Gaze-tracking and Bubbles experiments." Journal of Vision **8**(6): 710.
- Roy, M., A. Lebuis, et al. (2011). "The modulation of pain by attention and emotion: a dissociation of perceptual and spinal nociceptive processes." Eur J Pain **15**(6): 641 e641-610.
- Roy, M., M. Piche, et al. (2009). "Cerebral and spinal modulation of pain by emotions." Proc Natl Acad Sci U S A **106**(49): 20900-20905.
- Roy, S., C. Roy, et al. (2007). "A dynamic facial expression database." Journal of Vision **7**(9): 944.
- Roy, S., C. Roy, et al. (2008). "The use of spatio-temporal Information in decoding facial expression of emotions." Journal of Vision **8**(6): 707.
- Sandrini, G., M. Serrao, et al. (2005). "The lower limb flexion reflex in humans." Prog Neurobiol **77**(6): 353-395.
- Sato, W., T. Kochiyama, et al. (2004). "Enhanced neural activity in response to dynamic facial expressions of emotion: an fMRI study." Brain Res Cogn Brain Res **20**(1): 81-91.

- Simon, D., K. D. Craig, et al. (2008). "Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and emotions." Pain **135**(1-2): 55-64.
- Stevens, S. S. (1956). "The direct estimation of sensory magnitudes-loudness." Am J Psychol **69**(1): 1-25.
- Vachon-Preseau, E., M. O. Martel, et al. (2011). "The multilevel organization of vicarious pain responses: Effects of pain cues and empathy traits on spinal nociception and acute pain." Pain **152**(7): 1525-1531.
- Villemure, C. and M. C. Bushnell (2002). "Cognitive modulation of pain: how do attention and emotion influence pain processing?" Pain **95**(3): 195-199.
- Villemure, C., B. M. Slotnick, et al. (2003). "Effects of odors on pain perception: deciphering the roles of emotion and attention." Pain **106**(1-2): 101-108.
- Willer, J. C. (1977). "Comparative study of perceived pain and nociceptive flexion reflex in man." Pain **3**(1): 69-80.
- Williams, A. C. (2002). "Facial expression of pain: an evolutionary account." Behav Brain Sci **25**(4): 439-455; discussion 455-488.

## **CHAPITRE 4**

### **Discussion générale**

## **4.1 Rappel des objectifs et des résultats**

L'objectif global de la présente thèse consistait à caractériser la communication de la douleur selon la perspective de l'observateur. Une part des travaux visait à caractériser la communication de la douleur en tant qu'interaction, en identifiant comment l'observateur arrive à percevoir la douleur chez autrui à partir de l'expression faciale seulement. L'autre partie des travaux visait à identifier l'impact de ce message sur la douleur de l'observateur, et donc caractériser la communication de la douleur en tant que transaction.

### **4.1.1 Article 1**

Ce premier article avait comme objectif de caractériser les informations de l'expression faciale de douleur efficacement utilisées par l'observateur humain lorsqu'il doit distinguer la douleur des émotions de base et de la neutralité. Les données comportementales indiquent que la douleur, avec le dégoût, représente l'expression ayant le taux de reconnaissance le plus faible. La douleur est faussement perçue particulièrement dans les expressions de dégoût et de tristesse. À l'inverse, alors que l'on présente l'expression de douleur, les participants humains peuvent

percevoir à tort du dégoût, de la tristesse, mais aussi de la joie. Les informations de l'expression faciale significativement corrélées avec une identification adéquate de la douleur par l'observateur ont aussi été identifiées. Parmi l'ensemble des informations visuelles disponibles dans l'expression prototypique de la douleur, peu se sont avérées diagnostiques. En effet, seuls les plissements au dessus du nez (entre les yeux) et la bouche ont atteint le seuil statistique pour les humains. La technique des « *Bulles* » a aussi permis d'identifier dans quelles bandes de fréquences spatiales ces informations sont essentielles pour une bonne distinction de la douleur. Ainsi, les plis du haut du nez sont particulièrement informatifs lorsqu'ils sont disponibles en hautes fréquences. Les coins de la bouche doivent aussi être disponibles en relativement hautes fréquences spatiales alors que la bouche de façon plus globale est discriminative en fréquences moyennes.

Cette stratégie visuelle des observateurs humains a aussi été comparée à celle d'un observateur idéal qui utilise toute l'information disponible. Cet observateur procède à une corrélation pixel-par-pixel entre l'expression cible et l'ensemble des expressions possibles. Les résultats comportementaux révèlent des différences importantes par rapport aux observateurs humains. Alors que pour les humains le taux de bonnes réponses de la

la douleur est parmi les moins élevés, pour l'observateur idéal, la douleur est parmi les mieux reconnues. De plus, les erreurs (autant les omissions que les commissions) de l'observateur idéal sont réparties de façon aléatoire parmi les autres émotions contrairement à l'observateur humain. L'image de classification de l'observateur idéal indique qu'une utilisation optimale de l'information disponible diffère de celle de l'humain. L'observateur idéal utilise efficacement l'information contenue dans les deux yeux en hautes fréquences spatiales, les contours de la bouche en moyennes fréquences, la bouche de façon plus globale en basses fréquences ainsi que le centre du visage en très basses fréquences spatiales. Si ces différences pourraient a priori être interprétées comme l'utilisation d'une stratégie sous-optimale chez l'humain, d'autres facteurs explicatifs ont été proposés. Parmi ceux-ci, l'hypothèse de décorrelation de l'information a été soulevée. La décorrelation renvoie à l'idée que la stratégie visuelle d'extraction de l'information de l'humain n'est pas aléatoire. Même si, tel que proposé par Smith, Cottrell et al. (2005), le visage semble avoir évolué de façon à exprimer les différentes émotions de la façon la plus orthogonale possible, certaines expressions différentes possèdent des informations similaires qui peuvent nuire à la discrimination efficace. Il paraît donc adaptée que l'humain biaise

son traitement visuel de façon à cibler les informations permettant de dénouer ces ambiguïtés restantes afin de limiter le plus possible les confusions.

Par ailleurs, il semble que les régions utilisées par les humains soient celles connues pour encoder la dimension affective de la douleur vécue par l'individu. Cette hypothèse suggère que la stratégie humaine se base principalement sur la portion affective-motivationnelle de l'expérience d'autrui. On peut présumer que l'observateur utilise ce type d'information afin d'obtenir les informations les plus représentatives possibles de l'expérience de la personne en souffrance. Cette conception a comme prémisse que l'expression faciale d'émotions est un reflet de notre expérience internalisée. Certains auteurs suggèrent aussi que l'expression faciale transmet de l'information par rapport aux intentions de l'individu (Fridlund 1994; Horstmann 2003). Shackman, Salomons et al. (2011) ont proposé que le cortex cingulaire antérieur est médiateur de l'expression faciale dans différents contextes émotionnels et cognitifs. Le rôle privilégié de cette région dans la régulation des réponses comportementales via ses liens avec les régions pré-motrices et motrices appuient cette idée que l'expression faciale émotionnelle est en partie le reflet des intentions d'actions de l'émetteur. Évidemment, la tâche des

participants renvoyait à une catégorisation d'émotions et ne faisait pas appel explicitement au décodage de l'intention derrière l'expression. Néanmoins, l'hypothèse que les régions du visage exprimant la portion affective-motivationnelle sont utilisées parce qu'elles permettent potentiellement une meilleure estimation des intentions d'action chez le souffrant demeure à évaluer.

#### **4.1.2 Article 2**

L'article 2 avait comme visée d'investiguer le pouvoir de modulation des informations diagnostiques de l'expression faciale de la douleur sur l'expérience douloureuse de l'observateur et ainsi, de caractériser davantage l'effet de facilitation vicariante de la douleur. Les stimuli utilisés ont été dérivés des résultats de l'étude 1. Pour la moitié des stimuli, seuls les 20% pixels les plus corrélés avec une reconnaissance adéquate de la douleur étaient révélés (stimuli diagnostics) alors que pour l'autre moitié (stimuli contrôles; anti-diagnostics), seuls les 20% pixels les moins corrélés avec une bonne identification de la douleur étaient révélés. Ces stimuli se sont montrés suffisants pour moduler les mesures supraspinales de la douleur (jugements d'intensité et de désagrément de la douleur), mais cette modulation n'a pas été objectivée dans la mesure spinale de la douleur (RIII). Des investigations post-



expérimentales des stimuli utilisés ont montré que les stimuli diagnostics étaient jugés comme exprimant une valence négative, alors que les stimuli anti-diagnostics étaient jugés comme exprimant une valence positive. Puis, afin d'évaluer l'impact de la valence dans la modulation observée au plan supra-spinal, il a été demandé à d'autres participants de juger de la valence et de l'activation exprimées et induites par nos stimuli par rapport à des stimuli typiquement utilisés dans les études du domaine. Il a été démontré que l'hypothèse de modulation émotionnelle est peu probable étant donné l'important écart existant entre nos stimuli et ceux typiquement utilisés. L'ensemble de ces résultats a donc suggéré un rôle particulier de l'expression faciale de douleur et de ses régions diagnostiques dans la modulation de la douleur et, plus globalement, dans la portion interactionnelle de la communication de la douleur, c'est-à-dire son impact sur l'observateur ou, en termes communicationnel, le décodeur-récepteur.

## **4.2 Implications théoriques**

### ***4.2.1 Communication de la douleur : perspective de l'observateur-décodeur***

*Modèle biopsychosocial de la douleur.* Le modèle biopsychosocial de communication de la douleur proposée par Hadjistravopoulos et

collègues (Hadjistavropoulos, Craig et al. 2011) détaille les trois étapes de communication de la douleur soient l'expérience interne, l'encodage de l'expression (via moyens verbaux ou non-verbaux) et le décodage par l'observateur, tout en appuyant l'importance des facteurs additionnels influençant cet échange (culturels, sociaux, motivationnels, etc.). Les données des articles présentés ici situent leurs apports dans la portion décodage de la communication et dans l'analyse de l'impact de cette information sur le décodeur. Le premier article a identifié quelles informations sont déterminantes dans l'interaction entre l'émetteur et le décodeur pour qu'il y ait interprétation correcte du signal non-verbal émis via l'expression faciale. Cette investigation a tenté de limiter au maximum les facteurs autres pouvant affecter cette interaction. En effet, une interprétation adéquate de l'expression faciale de douleur réfère évidemment à l'identification du message (douleur vs dégoût par exemple), mais aussi au décodage ou à l'interprétation explicite de l'intention derrière l'action de communication (Fridlund 1994). Ici, les résultats nous renseignent seulement sur le décodage du signal même en tant que stimulus visuel et sans faire entrer en jeu les cognitions sur l'intention ou encore sur les actions qu'on attend de lui. C'est donc une investigation la plus dégagée possible du processus dynamique de décodage de l'expression faciale de

douleur par un observateur le plus neutre expérimentalement possible.

Le second article se positionne quant à lui dans la partie transactionnelle du modèle en tentant de mieux comprendre comment les différentes informations ayant un rôle plus ou moins important dans l'identification correcte de l'expression faciale de douleur peuvent à leur tour influencer l'expérience douloureuse de l'observateur. Les résultats suggèrent que tous les aspects impliqués dans le processus de communication de la douleur n'ont pas un poids égal dans la dite transaction. En effet, les composantes les plus corrélées avec une reconnaissance adéquate de l'expression faciale de douleur sont suffisantes pour augmenter l'expérience douloureuse de celui qui était initialement observateur/décodeur. À l'opposé, les régions les moins corrélées avec une interprétation juste de l'expression faciale de douleur produisent l'effet inverse, c'est-à-dire qu'elles diminuent les jugements d'intensité et de désagrément d'une stimulation nociceptive égale par ailleurs.

*Observateur humain : données comportementales et patron d'erreurs.* Les résultats comportementaux de l'article 1 suggèrent que pour l'observateur humain, le taux de reconnaissance juste de la douleur est comparable à celui de dégoût et qu'à eux deux, ces

émotions sont celles qui sont les moins bien reconnues des six émotions de base et de la neutralité. Ces résultats sont cohérents avec la littérature antérieure générale, et avec les études ayant utilisé la même banque de données sans l'application de bulles (Roy, Roy et al. 2007; Simon, Craig et al. 2008). Par ailleurs, les études ayant utilisé seulement les six émotions de base ainsi que la neutralité (i.e. excluant la douleur) n'attribuaient pas un si faible taux de reconnaissance au dégoût (e.g. Calder, Keane et al. 2003). Il est donc plausible d'émettre l'hypothèse que, en étant particulièrement confondu avec la douleur, la reconnaissance du dégoût souffre de ces confusions qui n'ont pas lieu lorsque la douleur ne fait pas partie des choix, comme c'est le cas dans une vaste majorité des banques de stimuli d'expressions d'émotions. En effet, l'analyse de la répartition des erreurs (fausses alarmes et omissions) effectuées par les observateurs humains suggèrent que les erreurs ne sont pas réparties de façon aléatoire à travers les émotions. Le dégoût et la tristesse mènent significativement plus souvent à une fausse reconnaissance de douleur alors que la douleur est plus souvent confondue avec ces deux émotions ainsi que la joie qu'avec d'autres émotions. Williams (Williams 2002) rapporte que l'intensité et la fréquence des unités d'action de l'expression de douleur sont associés avec celle du dégoût, de la colère, de la peur,

mais avec une diminution de celle associées à la joie. LeResche et Dworkin (1988) rapporte aussi que le dégoût, la colère, la peur et la tristesse peuvent parfois être exprimée lors d'expériences douloureuses chez des patients avec des douleurs chroniques.

*Dégoût.* Kappesser et Williams (2002) ont rapporté que le dégoût est fréquemment confondu avec la douleur. Une des explications proposée suggère que les expressions faciales prototypiques de ces deux émotions partagent des mouvements faciaux et plus précisément le plissement du nez et le soulèvement de la lèvre supérieure. Au-delà de cette constatation descriptive, les résultats de l'étude 1 suggèrent que non seulement les deux expressions partagent des mouvements faciaux, mais que ces mouvements font partie des informations utilisées de façon discriminative par l'humain dans sa tâche de catégorisation de la douleur. Ainsi, même si ces deux émotions ne sont pas celles qui partagent le plus de mouvements faciaux (Kappesser et Williams 2002), leurs informations discriminatives respectives semblent présenter un certain recoupement. En effet, les plis résultant du plissement du nez sont utilisés efficacement aussi pour l'identification du dégoût (Smith, Cottrell et al. 2005). Donc non seulement, la région et la bande de fréquences spatiales sont les mêmes, mais le type d'information que l'observateur y détecte (plis) est très semblable.

Les résultats de Smith et collègues suggèrent que l'humain semble avoir évolué de façon à minimiser le chevauchement dans la transmission d'information dans les expressions faciales d'émotions. À la lumière de cette hypothèse, ce constat de chevauchement entre la douleur et le dégoût paraît surprenant. Il paraît donc justifié de concevoir que ces deux états se retrouvent en quelque sorte à proximité d'un même continuum, c'est-à-dire que leurs expériences même présenteraient un certain chevauchement. En d'autres termes, qu'il y aurait au moins un peu de dégoût dans l'expérience de douleur et de la douleur dans l'expérience de dégoût. Fonctionnellement, cette hypothèse paraît plausible : ces deux états ont une fonction de protection de l'organisme en fournissant la motivation nécessaire au rejet de la menace immédiate (e.g. rejeter la nourriture à l'odeur ou au goût douteux, laissant présager une contamination, ou rejeter un objet coupant sur lequel notre pied s'est posé).

*Tristesse.* Similairement, il existe des évidences empiriques qui établissent des liens entre l'expression de douleur et de tristesse. Dans un commentaire invité, Izard (dans Williams 2002) propose qu'il est adaptatif d'exprimer de la tristesse en réponse à une stimulation nociceptive et qu'il est tout aussi adapté pour

l'observateur de détecter cette tristesse. L'auteure fournit l'exemple d'un enfant qui paraît en douleur et triste à la fois constitue un stimulus plus efficace pour engendrer réconfort et prise en charge que l'expression de sa douleur seulement. Wade, Dougherty et al. (1996) ont proposé un modèle de la séquence du traitement de la douleur. Ainsi, ils trouvent qu'un modèle séquentiel qui suit l'ordre suivant. D'abord, l'aspect sensoriel de la stimulation est traité. Puis, est traité l'aspect déplaisant de cette expérience. La troisième étape renvoie au traitement cognitif (croyances, attitudes, etc.). La dernière étape concerne les comportements reflétant la douleur (communication de la douleur, limitations des activités quotidiennes, etc.). Ils rapportent que les émotions négatives associées à la souffrance (reliées à l'étape 3 du traitement), tels la tristesse, sont des médiateurs fonctionnels importants des gens présentant des douleur chronique (qui se traduit à l'étape 4). Le lien fonctionnel entre la tristesse et la douleur est donc un construit supporté par des évidences empiriques diverses.

*Joie.* Dans les deux articles constitutifs de cette thèse, les résultats ont suggéré un lien particulier entre l'expression de douleur et l'expression de joie. En effet, le premier article a suggéré que dans le contexte de stimuli « bullés », la douleur peut être confondue avec l'expression de joie. Similairement, lorsqu'on montre

seulement certaines régions stratégiques (moins corrélées avec une identification juste comme les stimuli anti-diagnostiques du second article) de l'expression faciale de douleur, les participants perçoivent que l'émotion exprimée est positive alors qu'ils regardent une expression de douleur. À l'inverse du dégoût et de la tristesse, il existe une direction unique pour laquelle la douleur et la joie sont confondues : c'est l'expression de douleur qui est parfois confondue avec la joie et non pas la joie qu'on méprend pour de la douleur. Ces données d'abord identifiées dans l'article 1 trouvent directement appui dans l'étude 2 qui a montré que l'expression même de douleur peut être perçue comme présentant une valence positive lorsque certaines régions spécifiques seulement sont dévoilées. Ces résultats d'apparence a priori surprenante sont toutefois corroborés par des données antérieures. Kunz, Prkachin et al. (2009) ont rapporté que le soulèvement oblique de la lèvre, mouvement induit par la contraction du muscle zygomatique et qui est caractéristique du sourire, est retrouvé dans un grand pourcentage des expressions faciales de douleur. Basé sur des observations qualitatives, ces auteurs ont suggéré que lorsqu'on observe le déploiement temporel des mouvements faciaux présents dans l'expression de la douleur, les quatre unités d'action caractéristiques de la douleur se déploient d'abord, puis, les actions



également associées au sourire apparaissent. Ici, les stimuli utilisés consistent en l'apex d'expressions faciales de douleur. Ce choix de méthodologie est donc certainement impliqué dans les résultats. En effet, l'apex a été déterminé comme la dernière image du vidéo avant la diminution de l'expression. Elle comprend donc probablement un mélange des actions typiques de la douleur et du début du déploiement des actions typiquement associé également au sourire.

Au-delà de ces constatations comportementales, une analyse de l'information visuelle ayant mené aux différentes confusions pourrait confirmer de manière directe les hypothèses émises ci-haut guidées par la littérature antérieure. Par exemple, en utilisant les données de l'article 1, il serait théoriquement possible d'identifier les régions utilisées par les participants lorsque les confusions les plus fréquentes se sont produites en utilisant les mêmes analyses que celles décrites dans l'article 1 (régressions multiples). Ainsi, pour les omissions, trois images de classification pourraient être créées (joie, tristesse, dégoût). Elles représenteraient les informations utilisées lorsque les participants ont faussement identifié l'expression de douleur comme celle de la joie par exemple. Il s'agirait simplement d'utiliser les masques ayant mené à cette confusion et d'y soustraire tous les autres masques selon la même

méthode que celle décrite dans l'article. De telles analyses ont été faites sur les données de l'article 1. Les résultats sont présentés en annexe 2. Étant donné le nombre d'essais limité utilisé pour ces analyses (ex 15% des essais où la douleur est présentée pour créer l'image de classification du dégoût, donc environ 75 essais par participant), les résultats sont très bruités. Toutefois, avec plus d'essais, il est clair que de telles analyses permettraient de mieux comprendre le traitement visuel sous-tendant les erreurs les plus fréquentes dans la catégorisation de la douleur parmi les émotions de base. Sur la base des résultats préliminaires présentés en annexe 2, on peut quand même spéculer l'utilisation de l'information qui a mené aux erreurs les plus fréquentes. Par exemple, on voit que lorsque la tristesse est reconnue alors qu'une expression de douleur est présenté, les participants ont utilisé le plissement entre les yeux et le haussement des joues en hautes fréquences ainsi que les coins de la bouche en basses fréquences. À l'inverse, la douleur est faussement reconnue alors qu'on présente des expressions de tristesse lorsque les observateurs utilisent l'abaissement des sourcils (particulièrement le gauche) en hautes fréquences spatiales et le nez en fréquences moyennes. Bien que spéculatifs, ces résultats pourraient suggérer que lorsque les informations efficaces pour reconnaître la tristesse sont disponibles (voir Smith, Cottrell et al.

2005) et utilisées par l'observateur, la douleur et la tristesse sont confondues. Pour le dégoût, les régions efficaces pour les deux émotions présentent des recoupements importants qui se traduisent dans les résultats présentés à l'annexe 2. Pour les omissions et les fausses alarmes, les z-scores les plus élevés se situent en effet dans les régions des sourcils et entre les yeux en hautes fréquences. Pour la joie, l'utilisation de l'information des coins de la bouche et de la région entre la bouche et le nez semblent mener à l'omission de la douleur en faveur de la joie.

*Observateur idéal.* Les confusions retrouvées entre la douleur et les autres émotions paraissent s'expliquer par les propriétés visuelles des expressions, mais aussi par des facteurs moins directement liés aux propriétés physiques des expressions, comme par exemple la représentation mentale de l'expression de douleur. Lorsqu'on considère les données de l'observateur idéal, on constate que ce dernier ne présente pas la même distribution d'erreurs. C'est donc dire que le signal propre de l'expression faciale de douleur n'est effectivement pas le seul facteur explicatif de la stratégie humaine de catégorisation.

*Apports de la technique utilisée.* Ces résultats mettent en lumière une limite inhérente aux techniques de description de ce signal (e.g.

FACS) comme moyen d'investigation de l'expression faciale. En effet, si elles sont informatives pour décrire ce qui se produit dans le visage quand un état ou une émotion donnée est vécue, leur intérêt est plus limité pour décrire ce qui est effectivement utilisé par l'observateur pour décoder ce dit visage. La technique des *Bulles* permet d'identifier avec une grande précision (en théorie à quelques pixels près) les informations corrélées avec une identification juste de la douleur. Le fait que les résultats comportementaux retrouvés dans l'étude 1 soient similaires à ceux retrouvés dans la littérature n'utilisant pas les *Bulles* suggère que l'application de masques sur les stimuli, la longueur et répétitivité de la tâche ainsi que la méthode de jeu employée par les acteurs pour exprimer les émotions demandées ne semblent pas avoir été des facteurs influençant les résultats. Cette technique présente aussi l'avantage d'être relativement neutre sur le plan des débats quant à l'aspect holistique ou configural du traitement des visages (voir par exemple Gauthier et Tanaka, 2002). En effet, la présence simultanée de bulles permet de mettre en lumière la nécessité d'une configuration particulière de l'information pour une reconnaissance juste autant que la nécessité de parties indépendantes les unes des autres.

*Caractéristiques de l'observateur humain et impact sur les résultats.* Il serait intéressant de mesurer et contrôler certains facteurs pouvant potentiellement influencer l'information visuelle utilisée par l'observateur lors d'études ultérieures. On sait que des facteurs comme la culture peuvent influencer le traitement visuel d'extraction d'informations du visage d'autrui (Blais, Jack et al., 2008). D'autres facteurs d'intérêt dans le domaine de la douleur pourraient faire l'objet d'investigations futures; par exemple, l'influence du sexe de l'observateur sur le traitement visuel de l'expression faciale. La littérature suggère actuellement que le sexe de la personne en souffrance influence la réponse comportementale de l'observateur (Coll, M.P., Grégoire, M. et al., 2011), mais aucune information n'est disponible sur l'effet du genre de l'observateur sur le traitement visuel du visage. Le ratio d'observateurs hommes étant trop petits dans notre étude, il est impossible de procéder à des analyses formelles de différences de traitement entre les observateurs hommes et femmes. Toutefois, des analyses préliminaires suggèrent qu'il pourrait effectivement exister des différences. Le niveau d'empathie de l'observateur pourrait aussi s'avérer être une mesure informative. La littérature suggère que les observateurs hautement empathiques ont une réaction de bas niveau (e.g. spinale) inchangée, mais que le traitement de haut niveau est modulée par ce niveau d'empathie (voir par exemple

Mailhot et al. 2012 qui montrent une diminution ou inversion de la réponse de facilitation des jugements de douleur suite à la perception d'une expression faciale de douleur). Sur la base de ces données, il semble que les gens empathiques ont plus de facilité à réguler leur réponse supra-spinale possiblement afin de fournir un support approprié. Il serait intéressant de voir comment le niveau d'empathie peut affecter le traitement visuel de l'expression faciale.

#### ***4.2.2 Modulation de la douleur de l'observateur par l'expression faciale de douleur***

Les résultats de l'article 2 suggèrent que l'expression faciale de douleur peut moduler la douleur subjective ressentie par l'observateur. Toutefois, cette modulation n'a pas été objectivée dans la mesure spinale du traitement de la douleur (RIII). Certaines considérations techniques pourraient avoir joué un rôle dans cette absence de modulation (e.g. stimuli statiques vs dynamiques). Toutefois, le nombre de participants de cette étude est similaire à celui ayant été nécessaire dans les études précédentes abordant la question de la modulation de la douleur via les émotions ou les expressions faciales d'émotions. De plus, la taille d'effet de la modulation supra-spinale de l'étude est aussi comparable avec la

littérature dans laquelle elle s'inscrit. Ainsi, les résultats suggèrent possiblement que le mécanisme impliqué dans la modulation observée du traitement subjectif de la douleur n'est pas d'origine cérébro-spinale tel que suggéré par la théorie de Melzack (Melzack et Wall 1965) et les descendants de celle-ci (e.g. Ossipov, Dussor et al. 2010). Ces données suggèrent que la modulation est plutôt liée à la boucle thalamo-corticale ou mésencéphalique précédemment identifiée comme jouant un rôle dans la modulation de la douleur.

Les stimuli de cet article ont été créés à partir des données de l'article 1. Les stimuli représentant les 20% des pixels les plus corrélés avec une reconnaissance juste de la douleur (stimuli diagnostiques) alors que les stimuli contrôles ont été créés en révélant les 20% des pixels les moins corrélés avec une identification adéquate de la douleur (stimuli anti-diagnostiques). Il serait tentant de conclure que l'augmentation des jugements subjectifs de la douleur ressentie par l'observateur associé à la présentation des stimuli diagnostiques implique que les portions du visage encodant la portion affective de la douleur d'autrui arrivent à moduler à la fois la perception de l'intensité et du désagrément de la douleur infligée. Toutefois, comme le lecteur le constatera en observant les stimuli utilisés dans l'étude 2, les 20% pixels les plus corrélés avec une bonne réponse incluent des régions qui

encoderaient plus spécifiquement la dimension sensorielle [i.e. contraction du contour des yeux par l'orbicularis oculii (AU 4 & 6)] et d'autres qui encoderaient davantage sa dimension affective - froncement des sourcils par le muscle corrugateur et soulèvement de la lèvre supérieure par le muscle levator labilii superioris (AU 9 & 10) (Kunz, Lautenbacher et al. 2011). Néanmoins, les résultats de l'expérience 1 suggèrent que la région médiane des sourcils et la bouche ont une contribution plus robuste (voir Article 1, figure 2a) au décodage de la douleur. Ceci suggère que le décodage pourrait s'appuyer davantage sur les informations pertinentes à la dimension affective de la douleur, ce qui appuie un modèle de communication davantage axé sur l'impact affectif de l'expérience que sur ses aspects strictement sensoriels. Toutefois, il faut noter que bien que les régions identifiées dans la première étude soient celles qui atteignent le seuil de significativité, les masques diagnostics utilisées dans l'étude 2 montraient presque toute la région des yeux et des sourcils, y compris la portion péri-oculaire plus spécifiquement associée à l'encodage de la sensation de douleur dans l'étude de Kunz et al. (2011). Ainsi, nous ne sommes actuellement pas en mesure de conclure avec certitude que l'impact de la douleur d'autrui sur l'observateur dans notre deuxième étude



dépend exclusivement du décodage de l'information à prédominance affective dans l'expression.

Il serait intéressant de voir si, en présentant seulement les régions de l'expression faciale associées plus spécifiquement avec la composante affective de la douleur, on observerait une modulation spécifique de l'expérience affective de l'observateur soumis à des stimuli douloureux et vice-versa pour les aspects sensoriels.

#### ***4.2.3 Liens avec les données d'imagerie cérébrale antérieures***

Les résultats de la seconde étude appuient, bien que de façon indirecte, le modèle de perception-action (Preston et de Waal 2002). Ce modèle stipule que l'empathie est possible par la projection sur le système neural de l'observateur de l'état ou l'action d'autrui. Plus spécifiquement, pour la douleur, l'observation d'autrui en douleur ou de comportements de communication de la douleur entraînerait un patron d'activation cérébrale similaire à celui observé lors de l'expérience de douleur. Les données de l'expérience 2 appuient indirectement ce modèle en démontrant que le fait de voir autrui en douleur suffit à activer des systèmes de modulation de la douleur du système neural de l'observateur ce qui est compatible avec l'idée

d'une facilitation de l'activation des circuits de douleur chez l'observateur. En effet, percevoir de la douleur chez autrui semble être un stimulus suffisamment puissant pour activer des mécanismes de modulation supra-spinale de la douleur. Toutefois, la non modulation de la mesure spinale de la douleur (RIII) milite en faveur d'une voie autre que cérébro-spinal pour expliquer ce phénomène. L'effet est probablement plutôt attribuable à la voie mésencéphalique ou thalamo-corticale. L'observation du patron d'activation de ces voies à l'aide d'un paradigme alliant une procédure similaire à l'étude 2 et l'une ou l'autre des techniques comme l'imagerie fonctionnelle ou les potentiels évoqués permettrait de vérifier plus directement cette hypothèse.

À la lumière des résultats des articles présentés ici, des avenues de recherche en imagerie cérébrale émergent. Par exemple, il serait intéressant d'investiguer à l'aide de techniques d'imagerie si la vue des régions du visage qui encodent la portion affective de la douleur entraîne une activation proportionnellement plus importante des régions cérébrales traitant de façon prépondérante la portion affective de la douleur et vice-versa pour la portion sensorielle. Ou encore, de façon plus large, on pourrait envisager de comparer l'activation cérébrale engendrée par le traitement des

régions diagnostiques de la douleur en comparaison avec celles de d'autres émotions. La question de la spécificité du traitement de la douleur par rapport aux autres émotions demeure peu explorée. L'utilisation de stimuli masqués de façon à montrer uniquement les régions fortement diagnostiques de chacune des émotions semble ainsi être une avenue particulièrement affinée et discriminative d'explorer cette question.

### **4.3 Implications cliniques**

Bien qu'à portée a priori fondamentale, les résultats expérimentaux peuvent être extrapolés aux sphères cliniques. Par exemple, on sait que, comparés à des sujets contrôles, les patients atteints de démence présentent une augmentation de l'expressivité faciale en réponse à un stimulus nociceptif et que l'intensité de l'expression faciale de douleur est alors particulièrement corrélée avec l'intensité du stimulus (Kunz, Scharmann et al. 2007). Les auteurs rapportent que cette augmentation de l'expressivité n'est pas nécessairement accompagnée d'une augmentation du rapport verbal lorsque celui-ci est disponible. Ces données suggèrent que chez les patients souffrant de déficits cognitifs importants, l'expression faciale de douleur semble gagner en validité, notamment parce qu'elle est probablement moins influencée par les

facteurs contextuels et cognitifs qui induisent normalement une suppression des comportements de douleur (c.f. modèle de communication bio-psycho-sociale de la douleur). Sur le plan neurologique, les expressions de douleur seraient effectivement sous le contrôle inhibiteur des régions préfrontales. Par exemple, Kunz, Chen et al. (2011) ont démontré que l'expressivité faciale est inversement liée à l'activation frontostriatale. Chez les personnes souffrant de troubles neuro-cognitifs, la diminution de ce contrôle inhibiteur suggère que la validité de l'expression faciale de douleur chez de tels patients est d'autant plus grande que chez des individus sans déficits neuro-cognitifs. Alors, il paraît particulièrement pertinent de former les intervenants médicaux appelés à juger de la douleur dans cette population à améliorer leur habileté à détecter les différents signes et propriétés du visage qui reflètent la douleur tout en mettant en lumière l'impact des facteurs contextuels et cognitifs dans l'expression faciale. De telles informations permettraient possiblement de renforcer l'utilité de l'expression faciale comme outil diagnostique de la présence de la douleur, en particulier chez les patients vulnérables ayant des difficultés de communication verbale.

Toujours dans le contexte de formation spécialisée des intervenants médicaux appelés à juger la douleur chez les patients, il pourrait être cliniquement pertinent de vérifier avec des sujets contrôles si lorsqu'on leur indique précisément quelles régions du visage regarder pour juger de l'expérience sensorielle ou affective d'une personne en douleur, la justesse de l'estimation de l'expérience d'autrui est augmentée. Rappelons à cet effet l'étude de Adolphs, Gosselin et al. (2005). Les auteurs ont montré que S.M., une patiente normalement incapable de décoder la peur dans le visage d'autrui dû à une lésion bilatérale de l'amygdale, pouvait avoir des performances comparables aux sujets normaux lorsqu'on lui demandait explicitement de fixer les yeux (région diagnostique de la peur). Ainsi, si on arrive à démontrer que des indications claires sur les informations faciales à utiliser permettent de porter un jugement plus juste sur l'intensité de la douleur vécue par autrui, les implications cliniques paraissent majeures.

#### **4.4 Limites et perspectives futures générales**

Les résultats de la présente thèse doivent être situés dans le contexte de certaines limitations techniques. D'abord, l'ensemble des apports est basé sur l'utilisation de stimuli statiques. Plusieurs évidences empiriques suggèrent qu'il existe des différences dans le

traitement de stimuli statiques et dynamiques, notamment au plan cérébral (Haxby, Hoffman et al. 2000; Haxby, Hoffman et al. 2002; Kilts, Egan et al. 2003; LaBar, Crupain et al. 2003). Même si les résultats de l'article 1 sont comparables en terme de distribution des erreurs et de taux de reconnaissance juste avec l'étude de Simon (Simon, Craig et al. 2008) qui a utilisé des stimuli dynamiques (voir aussi Roy, Roy et al. 2008), il est toutefois indéniable que l'utilisation de stimuli dynamiques s'avèrera dans les prochaines études un choix plus judicieux en termes de considérations écologiques et informatives. Par exemple, tel que décrit plus tôt, l'utilisation de stimuli statiques implique souvent d'utiliser l'apex de l'émotion. En négligeant le rythme inhérent à l'expression donnée (Kamachi, Bruce et al. 2001) et en affichant seulement l'émotion à son plein déploiement, ce choix a des implications potentielles sur les interprétations. La caractérisation des propriétés de l'expression faciale de douleur statique représente certainement un premier pas dans la compréhension de la communication de la douleur. Toutefois, les prochaines étapes devront inclure des stimuli dynamiques afin de prendre en compte les points susmentionnés. L'émergence récente de banques de données d'expressions faciales dynamiques incluant l'expression de douleur facilitera d'ailleurs cette orientation. Ces travaux ont notamment été entamés dans notre

laboratoire. En effet, la méthode des « *Bulles* » a été appliquée aux stimuli dynamiques de la banque de données à partir de laquelle les stimuli statiques des deux études décrites ici ont été tirées. L'annexe 3 illustre comment la technique des « *Bulles* » a été adaptée à des stimuli comportant une portion dynamique. Les résultats illustrant l'information spatio-temporelle corrélée avec une reconnaissance adéquate de la douleur sont en cours.

Une autre des limitations des présents résultats concerne la « pureté » des stimuli utilisés. En effet, le choix des stimuli de la banque d'expressions faciales utilisée pour les deux études est basé sur l'entropie; une mesure de l'ambiguïté des stimuli. Ainsi, les stimuli ayant été intégrés à la base de données sont ceux qui présentaient le plus petit taux d'ambiguïté possible (i.e. la douleur exprimée de la façon la plus pure possible). Ainsi, même si ces expressions comportent un certain taux de recoupement avec les autres émotions de base (un niveau d'ambiguïté le plus faible possible, mais non nul), on peut supposer que l'expression faciale de douleur exprimée dans des contextes naturels possède des caractéristiques différentes. Par exemple, plusieurs études ont suggéré que la colère est souvent exprimée lors d'expériences douloureuses (e.g. Simon, Craig et al., 2008). Peut-être que certaines situations douloureuses entraînent effectivement

l'émergence de la colère. L'utilisation de stimuli les plus « purs » possible influence nécessairement les résultats.

Aussi, les résultats actuels concernent l'extraction de l'information lorsque la tâche consiste à catégoriser l'expression faciale de douleur à travers d'autres émotions. Les prochaines étapes devront tenter d'objectiver les informations utilisées pour juger de l'intensité (ou du désagrément) de la douleur vécue par l'individu concerné. La technique des bulles pourrait être utilisée avec une banque de visages exprimant différents niveaux d'intensité de douleur. Cette façon de faire permettrait de voir quelles informations du visage permettent une estimation juste du niveau de douleur, mais aussi quelles informations sont négativement corrélées avec une estimation juste. Ce genre d'investigation permettrait d'apporter un éclairage différent et informatif sur le phénomène de sous-estimation de la douleur. D'autre part, les régions identifiées dans ce genre de tâche différeront potentiellement de celles identifiées ici entre autre parce que l'observateur n'aura plus à faire ce processus de décorrelation discuté ci-haut. En effet, comme toutes les expressions présentées seraient de la douleur, l'observateur pourrait se concentrer sur le jugement d'intensité. Toujours dans cette optique d'investiguer le



phénomène classique de sous-estimation de la douleur d'autrui (Drayer, Henderson et al. 1999; Marquie, Raufaste et al. 2003), il serait particulièrement intéressant de soumettre cette même tâche à des intervenants en santé (e.g. médecins, infirmières) variant en années d'expérience. Sachant que ce biais augmente avec le nombre d'années d'expérience des intervenants en santé, il serait intéressant de voir si l'augmentation de l'écart entre l'estimation du médecin par exemple et de la douleur réelle du patient trouve origine dans une modification de l'extraction visuelle d'information dans le visage.

## REFERENCES

- Adolphs, R., F. Gosselin, et al. (2005). "A mechanism for impaired fear recognition after amygdala damage." Nature **433**(7021): 68-72.
- Adolphs, R., M. L. Spezio, et al. (2008). "Distinct face-processing strategies in parents of autistic children." Curr Biol **18**(14): 1090-1093.
- Adolphs, R., D. Tranel, et al. (2003). "Dissociable neural systems for recognizing emotions." Brain Cogn **52**(1): 61-69.
- Anand, K. J. and K. D. Craig (1996). "New perspectives on the definition of pain." Pain **67**(1): 3-6; discussion 209-211.
- Anderson, A. K., K. Christoff, et al. (2003). "Neural correlates of the automatic processing of threat facial signals." J Neurosci **23**(13): 5627-5633.
- Apkarian, A. V., M. C. Bushnell, et al. (2005). "Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease." Eur J Pain **9**(4): 463-484.
- Avenanti, A., D. Buetti, et al. (2005). "Transcranial magnetic stimulation highlights the sensorimotor side of empathy for pain." Nat Neurosci **8**(7): 955-960.
- Benedetti, F., S. Vighetti, et al. (1999). "Pain threshold and tolerance in Alzheimer's disease." Pain **80**(1-2): 377-382.

- Bingel, U., M. Quante, et al. (2003). "Single trial fMRI reveals significant contralateral bias in responses to laser pain within thalamus and somatosensory cortices." Neuroimage **18**(3): 740-748.
- Blair, R. J., J. S. Morris, et al. (1999). "Dissociable neural responses to facial expressions of sadness and anger." Brain **122** ( Pt 5): 883-893.
- Blais, C., Jack, R.E., Scheepers, C., Fiset, D., Caldara, R. (2008). "Culture shapes how we look at faces". Plos One 3, e3022.
- Botvinick, M., A. P. Jha, et al. (2005). "Viewing facial expressions of pain engages cortical areas involved in the direct experience of pain." Neuroimage **25**(1): 312-319.
- Brainard, D. H. (1997). "The Psychophysics Toolbox." Spat Vis **10**(4): 433-436.
- Breau, L. M., P. J. McGrath, et al. (2001). "Facial expression of children receiving immunizations: a principal components analysis of the child facial coding system." Clin J Pain **17**(2): 178-186.
- Calder, A. J., J. Keane, et al. (2003). "Facial expression recognition across the adult life span." Neuropsychologia **41**(2): 195-202.
- Carr, L., M. Iacoboni, et al. (2003). "Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for

imitation to limbic areas." Proc Natl Acad Sci U S A **100**(9): 5497-5502.

Chambers, C. T., K. D. Craig, et al. (2002). "The impact of maternal behavior on children's pain experiences: an experimental analysis." J Pediatr Psychol **27**(3): 293-301.

Chan, C. W. and M. Dallaire (1989). "Subjective pain sensation is linearly correlated with the flexion reflex in man." Brain Res **479**(1): 145-150.

Claar, R. L., L. E. Simons, et al. (2008). "Parental response to children's pain: the moderating impact of children's emotional distress on symptoms and disability." Pain **138**(1): 172-179.

Coll, M.P., Grégoire, M., Latimer, M., Eugène, F., Jackson, P.L. (2011). "Perception of pain in others: Implication for caregivers". Pain manage. 1: 257-265.

Cox, J. J., F. Reimann, et al. (2006). "An SCN9A channelopathy causes congenital inability to experience pain." Nature **444**(7121): 894-898.

Craig, K. D. (2004). "Social communication of pain enhances protective functions: a comment on Deyo, Prkachin and Mercer (2004)." Pain **107**(1-2): 5-6.

- Craig, K. D., K. M. Prkachin, et al. (1992). The facial expression of pain. Handbook of pain assessment, New York, NY, US: Guilford Press: 257-276.
- Craig, K. D., M. F. Whitfield, et al. (1993). "Pain in the preterm neonate: behavioural and physiological indices." Pain **52**(3): 287-299.
- Danziger, N., K. M. Prkachin, et al. (2006). "Is pain the price of empathy? The perception of others' pain in patients with congenital insensitivity to pain." Brain **129**(Pt 9): 2494-2507.
- De Valois, R. L., H. Morgan, et al. (1974). "Psychophysical studies of monkey vision. 3. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers." Vision Res **14**(1): 75-81.
- Dotsch, R., D. H. Wigboldus, et al. (2008). "Ethnic out-group faces are biased in the prejudiced mind." Psychol Sci **19**(10): 978-980.
- Drayer, R. A., J. Henderson, et al. (1999). "Barriers to better pain control in hospitalized patients." J Pain Symptom Manage **17**(6): 434-440.
- Dum, R. P., D. J. Levinthal, et al. (2009). "The spinothalamic system targets motor and sensory areas in the cerebral cortex of monkeys." J Neurosci **29**(45): 14223-14235.

- Ekman, P. and W. V. Friesen (1975). Unmasking the face: A guide to recognizing emotions from facial clues, Oxford, England: Prentice-Hall.
- Farah, M. J., K. D. Wilson, et al. (1998). "What is "special" about face perception?" Psychol Rev **105**(3): 482-498.
- Fridlund, A. J. (1994). Human facial expression: An evolutionary view. San Diego, CA, US, Academic Press.
- Gauthier, I., Tanaka, J.W. (2002). "Configural and holistic face processing: The Whole Story." Journal of Vision **2**(7).
- Godinho, F., M. Magnin, et al. (2006). "Emotional modulation of pain: is it the sensation or what we recall?" J Neurosci **26**(44): 11454-11461.
- Goodenough, B., L. Addicoat, et al. (1997). "Pain in 4- to 6-year-old children receiving intramuscular injections: a comparison of the Faces Pain Scale with other self-report and behavioral measures." Clin J Pain **13**(1): 60-73.
- Gosselin, F. and P. G. Schyns (2001). "Bubbles: a technique to reveal the use of information in recognition tasks." Vision Res **41**(17): 2261-2271.
- Goubert, L., T. Vervoort, et al. (2009). "Catastrophizing about their children's pain is related to higher parent-child congruency

in pain ratings: an experimental investigation." Eur J Pain **13**(2): 196-201.

Hadjistavropoulos, T. and K. D. Craig (2002). "A theoretical framework for understanding self-report and observational measures of pain: a communications model." Behav Res Ther **40**(5): 551-570.

Hadjistavropoulos, T., K. D. Craig, et al. (2011). "A biopsychosocial formulation of pain communication." Psychol Bull **137**(6): 910-939.

Harrison, A. (1993). "Comparing nurses' and patients' pain evaluations: a study of hospitalized patients in Kuwait." Soc Sci Med **36**(5): 683-692.

Haxby, J., E. Hoffman, et al. (2000). "The distributed human neural system for face perception." Trends in Cognitive Science **4**(6): 223-233.

Haxby, J., E. Hoffman, et al. (2002). "Human Neural Systems for Face Recognition and Social Communication." Biological Psychiatry **51**(1): 59-67.

Hesselgard, K., S. Larsson, et al. (2007). "Validity and reliability of the Behavioural Observational Pain Scale for postoperative pain measurement in children 1-7 years of age\*." Pediatr Crit Care Med.

- Hill, M. L. and K. D. Craig (2002). "Detecting deception in pain expressions: the structure of genuine and deceptive facial displays." Pain **98**(1-2): 135-144.
- Hofbauer, R. K., P. Rainville, et al. (2001). "Cortical representation of the sensory dimension of pain." J Neurophysiol **86**(1): 402-411.
- Horstmann, G. (2003). "What do facial expressions convey: feeling states, behavioral intentions, or action requests?" Emotion **3**(2): 150-166.
- Hsiao, J. H. and G. Cottrell (2008). "Two fixations suffice in face recognition." Psychol Sci **19**(10): 998-1006.
- Jack, R. E., C. Blais, et al. (2009). "Cultural confusions show that facial expressions are not universal." Curr Biol **19**(18): 1543-1548.
- Jack, R. E., R. Caldara, et al. (2011). "Internal representations reveal cultural diversity in expectations of facial expressions of emotion." J Exp Psychol Gen.
- Jackson, P. L., E. Brunet, et al. (2006). "Empathy examined through the neural mechanisms involved in imagining how I feel versus how you feel pain." Neuropsychologia **44**(5): 752-761.



- Jackson, P. L. and J. Decety (2004). "Motor cognition: a new paradigm to study self-other interactions." Curr Opin Neurobiol **14**(2): 259-263.
- Jackson, P. L., A. N. Meltzoff, et al. (2005). "How do we perceive the pain of others? A window into the neural processes involved in empathy." Neuroimage **24**(3): 771-779.
- Jackson, P. L., P. Rainville, et al. (2006). "To what extent do we share the pain of others? Insight from the neural bases of pain empathy." Pain **125**(1-2): 5-9.
- Kamachi, M., V. Bruce, et al. (2001). "Dynamic properties influence the perception of facial expressions." Perception **30**(7): 875-887.
- Kappesser, J. and A. C. Williams (2002). "Pain and negative emotions in the face: judgements by health care professionals." Pain **99**(1-2): 197-206.
- Kappesser, J., A. C. Williams, et al. (2006). "Testing two accounts of pain underestimation." Pain **124**(1-2): 109-116.
- Kilts, C. D., G. Egan, et al. (2003). "Dissociable neural pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions." Neuroimage **18**(1): 156-168.
- Kunz, M., J. I. Chen, et al. (2011). "Cerebral regulation of facial expressions of pain." J Neurosci **31**(24): 8730-8738.

- Kunz, M., S. Lautenbacher, et al. (2011). "Are both the sensory and the affective dimensions of pain encoded in the face?" Pain.
- Kunz, M., V. Mylius, et al. (2004). "On the relationship between self-report and facial expression of pain." J Pain **5**(7): 368-376.
- Kunz, M., K. Prkachin, et al. (2009). "The smile of pain." Pain **145**(3): 273-275.
- Kunz, M., S. Scharmann, et al. (2007). "The facial expression of pain in patients with dementia." Pain **133**(1-3): 221-228.
- LaBar, K., M. Crupain, et al. (2003). "Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain." Cerebral Cortex **13**(10): 1023-1033.
- LaBar, K. S., M. J. Crupain, et al. (2003). "Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain." Cereb Cortex **13**(10): 1023-1033.
- LaChapelle, D. L., T. Hadjistavropoulos, et al. (1999). "Pain measurement in persons with intellectual disabilities." Clin J Pain **15**(1): 13-23.
- Lang, P. J. (1995). "The emotion probe. Studies of motivation and attention." Am Psychol **50**(5): 372-385.

- Langford, D. J., S. E. Crager, et al. (2006). "Social modulation of pain as evidence for empathy in mice." Science **312**(5782): 1967-1970.
- Larochette, A. C., C. T. Chambers, et al. (2006). "Genuine, suppressed and faked facial expressions of pain in children." Pain **126**(1-3): 64-71.
- Lee, J., F. Gosselin, et al. (2011). "How do schizophrenia patients use visual information to decode facial emotion?" Schizophr Bull **37**(5): 1001-1008.
- Legrain, V., G. D. Iannetti, et al. (2011). "The pain matrix reloaded: a salience detection system for the body." Prog Neurobiol **93**(1): 111-124.
- LeResche, L., and Dworkin, S.F. (1988). « Facial expressions of pain and émotions in chronic TMD patients. » Pain **35** (1) : 71-78.
- Marquie, L., E. Raufaste, et al. (2003). "Pain rating by patients and physicians: evidence of systematic pain miscalibration." Pain **102**(3): 289-296.
- Melzack, R. and H. Eisenberg (1968). "Skin sensory afterglows." Science **159**(3813): 445-447.
- Melzack, R. and P. D. Wall (1965). "Pain mechanisms: a new theory." Science **150**(699): 971-979.

- Morin, C., G. H. Duncan, et al. (1999). "Differential effects of morphine on pain and temperature perception in human volunteers." Eur J Pain **3**(3): 193-204.
- Morris, J. S., C. D. Frith, et al. (1996). "A differential neural response in the human amygdala to fearful and happy facial expressions." Nature **383**(6603): 812-815.
- Morrison, I., D. Lloyd, et al. (2004). "Vicarious responses to pain in anterior cingulate cortex: is empathy a multisensory issue?" Cogn Affect Behav Neurosci **4**(2): 270-278.
- Nagasako, E. M., A. L. Oaklander, et al. (2003). "Congenital insensitivity to pain: an update." Pain **101**(3): 213-219.
- Nielsen, K. J., N. K. Logothetis, et al. (2006). "Discrimination strategies of humans and rhesus monkeys for complex visual displays." Curr Biol **16**(8): 814-820.
- Ossipov, M. H., G. O. Dussor, et al. (2010). "Central modulation of pain." J Clin Invest **120**(11): 3779-3787.
- Patrick, C.J., Craig, K.D., Prakchin, K.M. (1986). « Observers judgments of acute pain : Facial action déterminants ». Journal of Personality and Social Psychology **50**(6) : 1291-1298.

- Pelli, D. G. (1997). "The VideoToolbox software for visual psychophysics: transforming numbers into movies." Spat Vis **10**(4): 437-442.
- Peyron, R., L. Garcia-Larrea, et al. (1999). "Haemodynamic brain responses to acute pain in humans: sensory and attentional networks." Brain **122 ( Pt 9)**: 1765-1780.
- Peyron, R., B. Laurent, et al. (2000). "Functional imaging of brain responses to pain. A review and meta-analysis (2000)." Neurophysiol Clin **30**(5): 263-288.
- Phillips, M. L., A. W. Young, et al. (1997). "A specific neural substrate for perceiving facial expressions of disgust." Nature **389**(6650): 495-498.
- Ploner, M., H. J. Freund, et al. (1999). "Pain affect without pain sensation in a patient with a postcentral lesion." Pain **81**(1-2): 211-214.
- Poole, G. D. and K. D. Craig (1992). "Judgments of genuine, suppressed, and faked facial expressions of pain." J Pers Soc Psychol **63**(5): 797-805.
- Preston, S. D. and F. B. de Waal (2002). "Empathy: Its ultimate and proximate bases." Behav Brain Sci **25**(1): 1-20; discussion 20-71.

- Price, D. D. (2000). "Psychological and neural mechanisms of the affective dimension of pain." Science **288**(5472): 1769-1772.
- Price, D. D. (2002). "Central neural mechanisms that interrelate sensory and affective dimensions of pain." Mol Interv **2**(6): 392-403, 339.
- Prkachin, K. and K. Craig (1995). "Expressing pain: The communication and interpretation of facial pain signals." Journal of Nonverbal Behavior **19**(4): 191-205.
- Prkachin, K. M. (1992). "The consistency of facial expressions of pain: a comparison across modalities." Pain **51**(3): 297-306.
- Prkachin, K. M. (2009). "Assessing pain by facial expression: facial expression as nexus." Pain Res Manag **14**(1): 53-58.
- Prkachin, K. M., S. Berzins, et al. (1994). "Encoding and decoding of pain expressions: a judgement study." Pain **58**(2): 253-259.
- Prkachin, K. M., H. Mass, et al. (2004). "Effects of exposure on perception of pain expression." Pain **111**(1-2): 8-12.
- Prkachin, K. M., P. E. Solomon, et al. (2007). "Underestimation of pain by health-care providers: towards a model of the process of inferring pain in others." Can J Nurs Res **39**(2): 88-106.

- Rainville, P., B. Carrier, et al. (1999). "Dissociation of sensory and affective dimensions of pain using hypnotic modulation." Pain **82**(2): 159-171.
- Rainville, P., G. H. Duncan, et al. (1997). "Pain affect encoded in human anterior cingulate but not somatosensory cortex." Science **277**(5328): 968-971.
- Rhudy, J. L. and M. W. Meagher (2001). "The role of emotion in pain modulation." Current Opinion in Psychiatry **14**(3): 241-245.
- Rhudy, J. L., A. E. Williams, et al. (2005). "Affective modulation of nociception at spinal and supraspinal levels." Psychophysiology **42**(5): 579-587.
- Roy, S., C. Roy, et al. (2007). "A dynamic facial expression database." Journal of Vision **7**(9): 944.
- Roy, S., C. Roy, et al. (2008). "The use of spatio-temporal Information in decoding facial expression of emotions." Journal of Vision **8**(6): 707.
- Saarela, M. V., Y. Hlushchuk, et al. (2006). "The Compassionate Brain: Humans Detect Intensity of Pain from Another's Face." Cereb Cortex.
- Schyns, P. G., L. S. Petro, et al. (2009). "Transmission of facial expressions of emotion co-evolved with their efficient

- decoding in the brain: behavioral and brain evidence." PLoS One **4**(5): e5625.
- Shackman, A. J., T. V. Salomons, et al. (2011). "The integration of negative affect, pain and cognitive control in the cingulate cortex." Nat Rev Neurosci **12**(3): 154-167.
- Simon, D., K. D. Craig, et al. (2008). "Recognition and discrimination of prototypical dynamic expressions of pain and emotions." Pain **135**(1-2): 55-64.
- Singer, T., B. Seymour, et al. (2004). "Empathy for pain involves the affective but not sensory components of pain." Science **303**(5661): 1157-1162.
- Smith, M. L., G. W. Cottrell, et al. (2005). "Transmitting and decoding facial expressions." Psychol Sci **16**(3): 184-189.
- Solomon, P. (2001). "Congruence between health professionals' and patients' pain ratings: a review of the literature." Scandinavian Journal of Caring Sciences **15**(2): 174-180.
- Strigo, I. A., G. H. Duncan, et al. (2003). "Differentiation of visceral and cutaneous pain in the human brain." J Neurophysiol **89**(6): 3294-3303.
- Susskind, J. M., D. H. Lee, et al. (2008). "Expressing fear enhances sensory acquisition." Nat Neurosci **11**(7): 843-850.



- Thomas, S. H., P. Borczuk, et al. (1999). "Patient and physician agreement on abdominal pain severity and need for opioid analgesia." Am J Emerg Med **17**(6): 586-590.
- Tolle, T. R., T. Kaufmann, et al. (1999). "Region-specific encoding of sensory and affective components of pain in the human brain: a positron emission tomography correlation analysis." Ann Neurol **45**(1): 40-47.
- Tracey, I. and P. W. Mantyh (2007). "The cerebral signature for pain perception and its modulation." Neuron **55**(3): 377-391.
- Vachon-Preseau, E., M. O. Martel, et al. (2011). "The multilevel organization of vicarious pain responses: effects of pain cues and empathy traits on spinal nociception and acute pain." Pain **152**(7): 1525-1531.
- Villanueva, L., Bourgeais, L. Systèmes de modulation de la douleur. Dans: Bouhassira, D., Calvino, b, editors. Douleurs: physiologie, physiopathologie et pharmacologie. Paris: Arnette; 2009: 30-45.
- Villemure, C. and M. C. Bushnell (2009). "Mood influences supraspinal pain processing separately from attention." J Neurosci **29**(3): 705-715.
- Villemure, C., B. M. Slotnick, et al. (2003). "Effects of odors on pain perception: deciphering the roles of emotion and attention." Pain **106**(1-2): 101-108.

- Voepel-Lewis, T., S. Malviya, et al. (2005). "Validity of parent ratings as proxy measures of pain in children with cognitive impairment." Pain Manag Nurs **6**(4): 168-174.
- Wade, J. B., L. M. Dougherty, et al. (1996). "Assessing the stages of pain processing: a multivariate analytical approach." Pain **68**(1): 157-167.
- Watson, A. B. and D. G. Pelli (1983). "QUEST: a Bayesian adaptive psychometric method." Percept Psychophys **33**(2): 113-120.
- Willer, J. C. (1977). "Comparative study of perceived pain and nociceptive flexion reflex in man." Pain **3**(1): 69-80.
- Williams, A. C. (2002). "Facial expression of pain: an evolutionary account." Behav Brain Sci **25**(4): 439-455; discussion 455-488.

## **ANNEXES**

## **ANNEXE 1**

### **STOIC: A database of dynamic and static faces expressing highly recognizable emotions**

Sylvain Roy<sup>1</sup>, Cynthia Roy<sup>1</sup>, Catherine Éthier-Majcher<sup>1</sup>, Isabelle  
Fortin<sup>1</sup>, Pascal Belin<sup>2</sup>, Frédéric Gosselin<sup>1</sup>

1. Department of Psychology, University of Montreal, Montreal, Canada

2. Department of Psychology, University of Glasgow, Glasgow, UK

### Abstract

We recorded about 7,000 short videos of 34 actors expressing facially the six basic emotions (fear, happiness, surprise, anger, sadness, and disgust), pain, and neutrality. The duration of the 1,088 most promising movies was reduced to 500 ms (15 frames). Faces were aligned on points placed on three robust facial landmarks (the pupil centers and the tip of the nose) across frames and videos. The frame containing the peak of the expression was extracted from each of these videos. Participants rated each stimulus with respect to how intensely it expressed happiness, disgust, fear, anger, sadness, surprise, and pain. The STOIC database comprises the 80 movies and corresponding photos most consistently recognized by observers while showcasing five male and five female actors, each expressing facially all basic emotions, pain, and neutrality.

Facial emotional expressions communicate information from which we can quickly infer the state of mind of our peers, and adjust our behavior accordingly (Darwin, 1872). Most psychophysical studies on facial expressions have been conducted using photos. However, the results from neuroimaging studies suggest that the brain regions involved in processing of facial affect—such as the posterior superior temporal sulcus (pSTS), the amygdala, and insula—respond differently to dynamic—more realistic—than to static emotional expressions (e.g., Haxby, Hoffman, & Gobbini, 2000, 2002; Kilts et al., 2002; LaBar et al., 2003). Furthermore, Humphreys, Donnelly and Riddoch (1993) reported the case of a patient who could accurately recognize emotional expressions from moving points of light, but not from static images; and, reciprocally, Adolphs et al., (2003) reported the case of a patient who could only recognize dynamic emotional expressions. Yet the role played by dynamic features in the *recognition* of facial expression of emotions is still largely unknown (e.g., Ambadar et al., 2005).

Several photo databases of facial expressions are available, such as the popular set developed by Ekman and Friesen (1975; e.g., CAFE, Karolinska Directed Emotional Faces). Likewise, there

are a few video databases of facial expressions available (e.g., Battocchi & Pianesi, 2004; Cohen, Sebe, Garg, & Huang, 2002; Douglas-Cowie, Cowie, & Schröder, 2000; Kanade, Cohn, & Tian, 2000; Martinkauppi, Soriano, Huovinen, & Laaksonen, 2002; O'Toole et al., 2005; Pantic, Valstar, Rademaker, & Maat, 2005; Sun, Sebe, Lew, & Gevers, 2004; Wallhoff & [FG-NET]. 2005). None of these databases is perfectly adapted to the experiments that we plan to carry out to examine the role played by dynamic features in the recognition of facial expression of emotions, namely, classification-image and gaze-tracking experiments. Therefore, we developed STOIC, a database of emotions expressed facially conform to our needs. The main characteristics of the database are:

- (1) It includes both videos and photos extracted from these videos.
- (2) It includes facial expressions of the six basic emotions as well as pain and neutrality. Regardless of whether pain should be considered a basic emotion, its evolutionary significance cannot be denied. It is obvious that the capacity to feel pain (Williams, 2002) and to recognize it in others is just as important as any basic emotions for our survival (Craig, 2004).
- (3) The static stimuli as well as every frame of the dynamic stimuli were spatially aligned—and, in the case of the

dynamic stimuli, temporally aligned—thus insuring a consistent positioning of facial features on the screen and minimizing head and body movements. This characteristic of the database will greatly simplify the analysis of classification-image and gaze-tracking data.

- (4) Over one thousand videos and photos were validated independently. In contrast to what is typically done, we put each stimulus in the perceived emotion category—not necessarily the emotion that the actor intended to express. Only the 80 dynamic and corresponding static stimuli that led to the greatest consensus among observers were kept.
- (5) The database is suitable for face identification (10 actors, each expressing facially the seven emotions and neutrality) and gender discrimination (half of the actors are females), in addition to facial expression recognition.

More details about the STOIC database are provided in the following pages.

### **Stimuli creation**

We recorded a total of about 7,000 movies of emotions expressed facially by 34 actors. Four observers selected the best 1,088 movies—those that appeared most genuine and contained the



least head movement. Faces in these selected movies were aligned spatially and temporally. One thousand eighty-eight photos were created by extracting the frame that contained the peak expression of every movie.

*Actors.* A total of 34 actors (16 females) between the ages of 20 and 45 years were recruited among theatrical schools in Montreal. It was reasoned that experienced actors could more easily produce emotions that appear genuine. To insure some uniformity between the visual stimuli, actors were asked not to wear jewelry, or have facial piercing. Powder was used to reduce sweating and reflecting light and a hairnet insured that hair would not get in the way.

*Filming.* Actors were asked to facially express the six basic emotions (happiness, disgust, fear, anger, sadness, and surprise) as well as pain and neutrality. Filming took place in a semi-anechoic chamber with chroma-key blue background, equipped with two diffuse tungsten lamps. The movie streams were recorded using a Canon XL1S video camera. Data was digitally transferred to a Personal Computer (AMD 1700 processor) and captured using Adobe Premier Pro software. The videos were captured in color at a rate of 29.97 images per second with a resolution of 720 by 480 pixels. The actors were positioned 1.5 meter from the lens of the camera and centered in the image. We deinterlaced the video track

using a blending method. At the beginning of each recording, actors were asked to hold a Kodak colors chart to allow color and luminance calibrations. However, the validation was done only on the achromatic stimuli but remains available for further studies. Each recording session lasted approximately one hour; actors had to generate multiple exemplars of the eight facial expressions at different intensities (weak, moderate, high). Actors were asked to say “ah” when expressing the emotions. The audio track was removed for the current validation but remains available for further studies (see Belin, Fillion-Bilodeau & Gosselin, 2008).

*Movies and photos.* The video track was initially segmented into one-second movies, including the full rise of the facial expressions. Four graduate students chose the four best movies for each emotion and actor (i.e., 34 actors \* 8 emotions \* 4 exemplars = 1,088 movies) based on two criteria: minimum body and head displacements and apparent authenticity of the expressed emotions. For each movie, we isolated facial-muscle movements by aligning three robust facial features using home-brewed Matlab programs. Thus, for every frame of every movie, three points were positioned, by human observers, on the centers of the pupils and on the tip of the nose. Then, we translated, rotated, and scaled the landmark positions of each frame of each movie to minimize the mean square

of the difference between them and a template (see Figure 1; e.g., Gonzalez, Woods & Eddins, 2002).



Figure 1. Left: Mean of all frames of a fear movie pre-alignment superimposed with the position of the facial landmarks annotated in red and the average facial landmarks in green. Right: The same but post-alignment: A significant amount of smear has been removed.

This template was the average of the landmark positions across all frames and movies scaled so that inter-ocular distance was 100 pixels. A consequence of this spatial alignment is that a featural meaning can now be ascribed to a coordinate. While these transformations worked nicely with clips that contained a lot of head movement, they introduced jitter in those that contained minimal movements. These movie clips were therefore rotated and translated on each frame, and scaled on the mean landmark locations. The frames were cropped at 256 x 256 pixels, centered on

the aligned nose landmark. Movies were also aligned temporally by annotating the last neutral frame prior the appearance of the emotional expression and were shortened to 15 frames (500 ms). Our static expressions consisted of the apex of every movie. We've added mid-gray elliptical masks to the movies convolved with a Gaussian filter having a standard deviation of 2 pixels to remove sharp edges. These masks were fitted by emotions and by subjects to reveal all internal and remove all external facial features; when necessary, we fitted individual movies (and photos).

## **Validations**

We proceeded with two separate validations—one for the photos and the other for the movies. This allowed us to derive a measure of stimulus recognizability based on entropy.

*Participants.* Thirty-five participants (20 females) from Montréal were recruited for the validation dynamic expressions (the mean age and years of schooling were 25 and 16 respectively). Thirty-five others (19 females) also from Montréal participated in the validation of the static expressions (the mean age and years of schooling were 23 and 16 respectively). All participants had normal or corrected vision.

*Procedure.* The validations took place in computer rooms at the Université de Montréal. All 1,088 movies (and photos) were presented to all participant using the Internet browser Firefox 2 on Macintosh G5 computers; our website was programmed in PHP/JavaScript. Photos were presented for 500 ms, that is, the same duration as the movies. Movies and photos were preceded and followed by mid-gray frames. Data was automatically saved on a Macintosh server's MySQL database. Participants were told they would see several movies (or photos) of actors expressing facially one of eight possible emotions, i.e., fear, happiness, anger, disgust, pain, sadness, surprise, and neutrality. We added that they could view the movies (or photos) a second time if they felt it was necessary but not more. Participants were instructed to rate each stimulus with respect to how intensely it expresses happiness, disgust, fear, anger, sadness, surprise, and pain, using seven continuous scroll bars (from leftmost = "not at all" to rightmost = "the most intense possible"). If they perceived an ambiguous facial expression, they were asked to rate the movie on more than one scroll bar. If they perceived neutrality, they were asked to simply set all scroll bars to the leftmost position.

*Stimulus entropy.* We measured movies (and photos) ambiguity by computing the entropy ( $E$ ) of their scroll bar ratings:

$$E = - \sum_i \frac{p_i}{\sum_i p_i} \log_2 \left( \frac{p_i}{\sum_i p_i} \right),$$

where  $p_i$  is a proportion derived from the scroll bar ratings of emotion  $i$ . A stimulus with an entropy of 0 bit was always given a non-zero rating on a single emotion scroll bar—it's as unambiguous as it can be; and a stimulus with an entropy of 2.8074 bits was given equal ratings, on average, on all emotion scroll bars—it's as ambiguous as it can be.

In preparation for the computation of the proportions ( $p_i$ ), the scroll bar ratings were transformed into z-scores for every participant. This transformation insures that a conservative participant that used only the first third of the scroll bars, for example, is comparable to a blasé participant that used only the second third of the scroll bars and to an ideal participant that used the entire scroll bars; but, importantly, it preserves the relative rating differences between emotions. Then the mean of the z-scores across participants but within emotion ( $z_i$ ) were transformed into  $p_i$  as follows:

$$p_i = \frac{z_i}{2 \times \max(|z_i|)} + 0.5.$$

We categorized each movie (and photos) as a member of the emotion for which it received the highest  $p_i$ . Thus one movie from

the final selection was put in the pain category because participants rated the movie highest on the pain dimension even though the actor's intention was to express sadness. Likewise, another movie from the final selection was put in the surprise category even though it was intended to express neutrality. The only exception to this "max" rule was the neutrality category: a movie (or an photo) was categorized as neutral if  $\max(p_i)$  was smaller than criteria including 1/8 of the movies (or photos).

### **The database**

The STOIC database comprises the 80 movies and corresponding photos associated with the smallest entropy values—most consistently recognized—while showcasing five male and five female actors, each expressing facially all basic emotions, pain, and neutrality. Tables 1 and 2 show the entropy values of every stimulus (see also Figures 2, 3, and 4 for their proportions derived from the scroll bar ratings— $p_i$ ).

A 3-way ANOVA (actor gender x stimuli type x emotion) on the entropy values revealed no significant difference between dynamic and static stimuli or male and female actors. A statistically significant effect of emotion was found ( $F_{(6,140)} = 30, p < .001$ ). Tukey post-hoc comparisons showed that entropies for fear and

pain emotions are significantly larger ( $p < .001$ ) than those for all other emotions—indicating that fear and pain were the most difficult emotions to recognize—but did not differ from one another (*ns*). Happiness and anger were the easiest emotions to recognize and did not differ from one another (*ns*). Moreover, the entropy values for disgust, sadness, and surprise did not differ from one another (*ns*) and constitute moderately difficult emotions to recognize.



### Acknowledgements

This work was supported by a grant from the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) awarded to Frédéric Gosselin. We also thank the undergraduate students who have annotated over 28,000 frames.

Dynamic clips	Fear	S	Happy	S	Anger	S	Disgust	S	Sadness	S	Surprise	S	Pain	S
actor 1	DM1fe	1.74	DM1ha	0.23	DM1an	0.32	DM1di	0.24	DM1sa	0.31	DM1su	1.30	DM1pa	1.80
actor 2	DM2fe	1.76	DM2ha	0.00	DM2an	1.16	DM2di	1.59	DM2sa	0.00	DM2su	0.13	DM2pa	1.47
actor 3	DM3fe	1.66	DM3ha	0.17	DM3an	0.00	DM3di	0.14	DM3sa	0.67	DM3su	0.66	DM3pa	1.82
actor 4	DM4fe	1.58	DM4ha	0.28	DM4an	0.00	DM4di	1.21	DM4sa	0.17	DM4su	0.65	DM4pa	1.83
actor 5	DM5fe	1.57	DM5ha	0.00	DM5an	0.14	DM5di	1.16	DM5sa	0.96	DM5su	0.47	DM5pa	1.39
actrice 1	DF1fe	1.83	DF1ha	0.12	DF1an	0.25	DF1di	0.43	DF1sa	0.00	DF1su	0.53	DF1pa	0.80
actrice 2	DF2fe	1.49	DF2ha	0.17	DF2an	0.16	DF2di	0.25	DF2sa	0.29	DF2su	0.80	DF2pa	1.51
actrice 3	DF3fe	1.07	DF3ha	0.26	DF3an	0.49	DF3di	1.31	DF3sa	0.97	DF3su	0.48	DF3pa	1.70
actrice 4	DF4fe	0.84	DF4ha	0.22	DF4an	0.69	DF4di	0.93	DF4sa	1.60	DF4su	1.19	DF4pa	1.96
actrice 5	DF5fe	1.14	DF5ha	0.78	DF5an	0.81	DF5di	1.32	DF5sa	0.77	DF5su	1.26	DF5pa	1.51
Means		1.47		0.22		0.40		0.86		0.57		0.75		1.58
SEMs		0.33		0.22		0.38		0.54		0.52		0.39		0.33
Static clips	Fear	S	Happy	S	Anger	S	Disgust	S	Sadness	S	Surprise	S	Pain	S
actor 1	SM1fe	1.75	SM1ha	0.28	SM1an	0.32	SM1di	0.52	SM1sa	0.89	SM1su	1.22	SM1pa	1.53
actor 2	SM2fe	1.12	SM2ha	0.04	SM2an	0.67	SM2di	1.29	SM2sa	0.47	SM2su	0.55	SM2pa	1.07
actor 3	SM3fe	1.26	SM3ha	0.00	SM3an	0.39	SM3di	0.92	SM3sa	0.24	SM3su	0.14	SM3pa	1.37
actor 4	SM4fe	1.62	SM4ha	0.29	SM4an	0.13	SM4di	1.22	SM4sa	0.28	SM4su	1.06	SM4pa	1.27
actor 5	SM5fe	1.73	SM5ha	0.09	SM5an	0.88	SM5di	0.58	SM5sa	1.22	SM5su	0.35	SM5pa	1.80
actrice 1	SF1fe	1.99	SF1ha	0.00	SF1an	0.24	SF1di	0.60	SF1sa	0.00	SF1su	0.52	SF1pa	1.18
actrice 2	SF2fe	1.47	SF2ha	0.15	SF2an	0.46	SF2di	0.00	SF2sa	0.17	SF2su	0.49	SF2pa	0.90
actrice 3	SF3fe	0.83	SF3ha	0.14	SF3an	0.46	SF3di	1.32	SF3sa	0.55	SF3su	0.67	SF3pa	1.61
actrice 4	SF4fe	0.76	SF4ha	0.00	SF4an	0.11	SF4di	1.05	SF4sa	1.28	SF4su	0.88	SF4pa	1.45
actrice 5	SF5fe	0.90	SF5ha	0.58	SF5an	0.63	SF5di	1.68	SF5sa	0.83	SF5su	0.97	SF5pa	1.12
Means		1.34		0.16		0.43		0.92		0.59		0.68		1.33
SEMs		0.14		0.06		0.08		0.16		0.14		0.11		0.09

Table 1. Dynamic and static stimuli entropy values. Stimuli names (e.g., "DM1fe") have the following format: Dynamic or static (e.g., "D or S"), gender of the actor (e.g., "M or F"), actor number (e.g., "1"), the first two letters of the expression (e.g., "fe" = "fear").

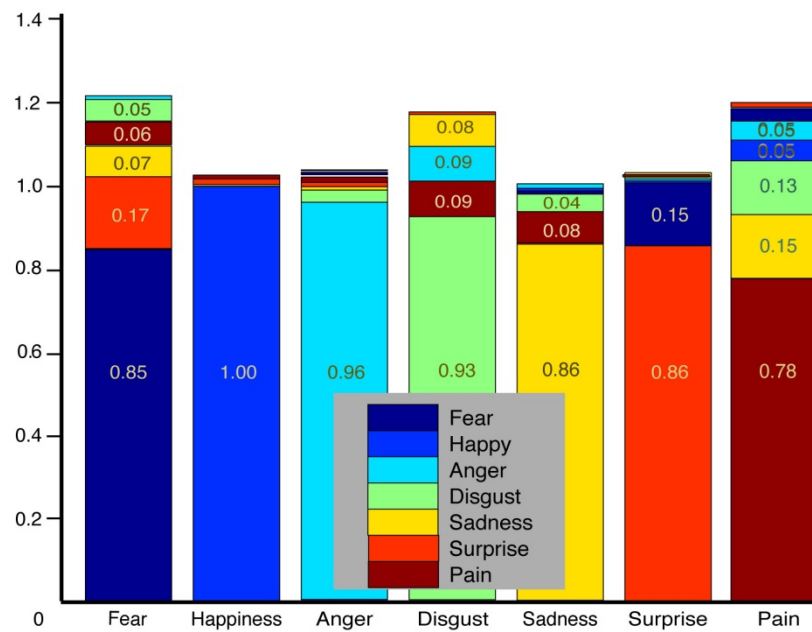


Figure 2. Mean rating proportions ( $p_i$ ) for photos.

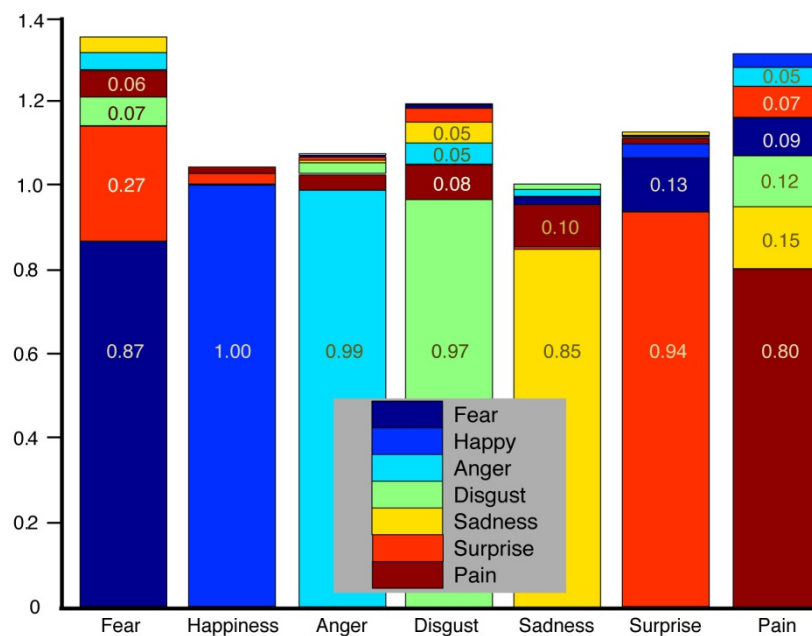


Figure 3. Mean rating proportions ( $p_i$ ) for movies.

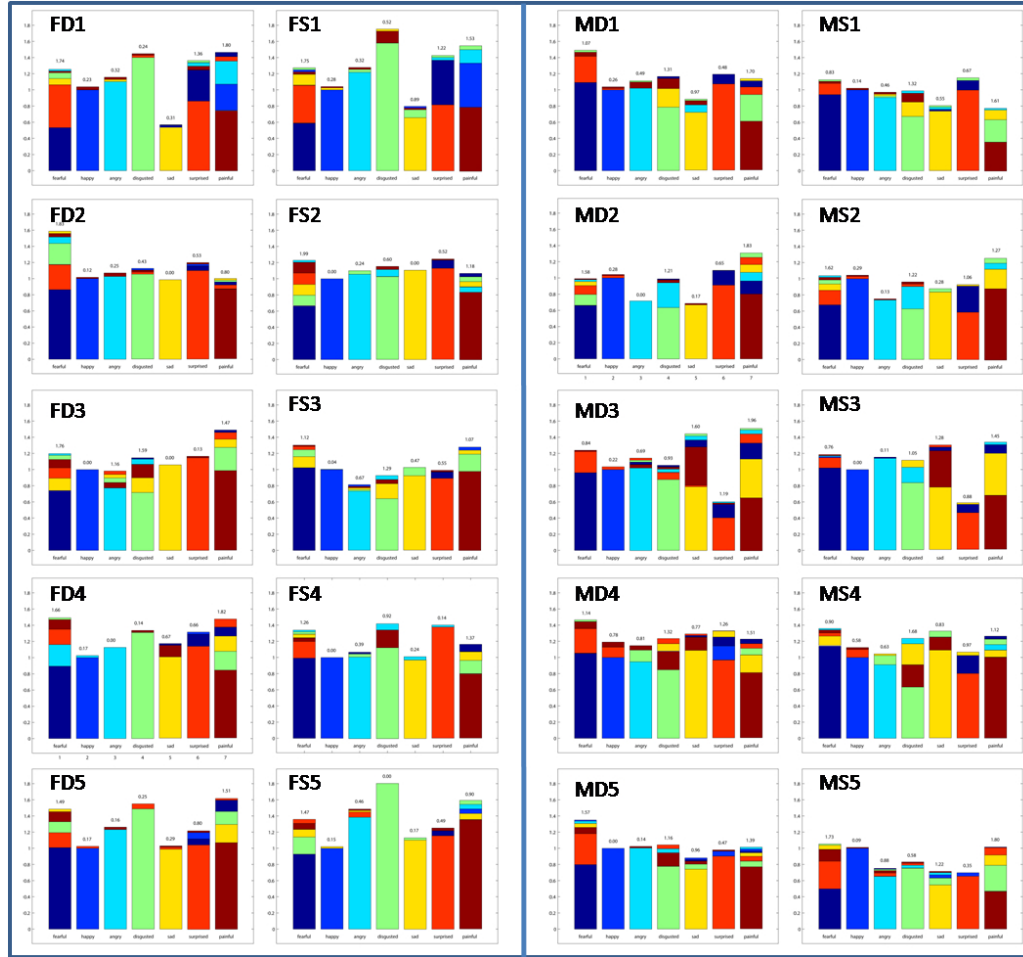


Figure 4. Mean rating proportions ( $p_i$ ) for all photos (left half) and movies (right half). F and M stand for Female and Male respectively. S and D stand for static and Dynamic respectively. Finally 1 through five is the female or male actor number.

## References

- Adolphs, R., Tranel, D., & Damasio, A. (2003). Dissociable neural systems for recognizing emotions. *Brain and Cognition*, 52, 61-69.
- Ambadar, S., Schooler, J., & Cohn, J. (2005). Deciphering the enigmatic face: the importance of facial dynamics in interpreting subtle facial expressions. *Psychological science*, 16(5), 403-410.
- Bassili, J. (1978). Facial motion in the perception of faces and of emotional expression. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 373-379.
- Battocchi, A., & Pianesi, F. (2004). *DaFEx: Un Database di Espressioni Facciali Dinamiche*. Paper presented at the SLI-GSCP Workshop of the Comunicazione Parlata e Manifestazione delle Emozioni, Padova (Italy).
- Belin, P., Fillion-Bilodeau, S. & Gosselin, F. (2008). The “Montreal Affective Voices”: a validated set of nonverbal affect bursts for research on auditory affective processing. *Behavior Research Methods*, 40, 531-539.
- Cohen, I., Sebe, N., Garg, A., & Huang, T. (2002). *Facial Expression Recognition from Video Sequences*. Paper presented at the International conference on Multimedia and Expo.

- Craig, K. D. (2004). Social communication of pain enhances protective functions: a comment on Deyo, Prkachin and Mercer (2004). *Pain*, 107(1-2), 5-6.
- Douglas-Cowie, E., Cowie, R., & Schröder, M. (2000). *A new emotion database: Considerations, sources and scope*. Paper presented at the ISCA Workshop on Speech and Emotion, Northern Ireland.
- Ekman, P., & Friesen, W. (1975). *Unmasking the face. A guide to recognizing emotions from facial clues*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Ekman, P., & Friesen, W. (1976). Measuring facial movement. *Environmental Psychology and Nonverbal Behavior*, 1(1), 56-75.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. & Eddins, S. L. (2002). *Digital Image Processing Using MATLAB*. New Jersey: Prentice Hall. pp. 624.
- Gosselin, F., & Schyns, P. (2001). Bubbles: a technique to reveal the use of information in recognition tasks. *Vision Research*, 41, 2261-2271.
- Haxby, J., Hoffman, E., & Gobbini, M. (2000). The distributed human neural system for face perception. *Trends in Cognitive Science*, 4(6), 223-233.

- Haxby, J., Hoffman, E., & Gobbini, M. (2002). Human Neural Systems for Face Recognition and Social Communication. *Biological Psychiatry*, 51(1), 59-67.
- Humphreys, G., Donnelly, N., & Riddoch, M. (1993). Expression is computed separately from facial identity, and it is computed separately for moving and static faces: neuropsychological evidence. *Neuropsychologia*, 31(173-181).
- Kamachi, M., Bruce, V., Mukaida, S., Gyoba, J., Yoshikawa, S., & Akamatsu, S. (2001). Dynamic properties influence the perception of facial expressions. *Perception*, 30, 875-887.
- Kanade, T., Cohn, J., & Tian, Y. (2000). *Comprehensive Database for Facial Expression Analysis*. Paper presented at the Automatic Face and Gesture Recognition Proceedings. Fourth IEEE International Conference.
- Kilts, CD., Egan, G., Gideon, DA., Ely, TD., Hoffman, JM. (2003). Dissociable Neural Pathways are involved in the recognition of emotion in static and dynamic facial expressions. *NeuroImage*, 18, 156-168.
- LaBar, K., Crupain, M., Voyvodic, J., & McCarthy, G. (2003). Dynamic perception of facial affect and identity in the human brain. *Cerebral Cortex*, 13(10), 1023-1033.

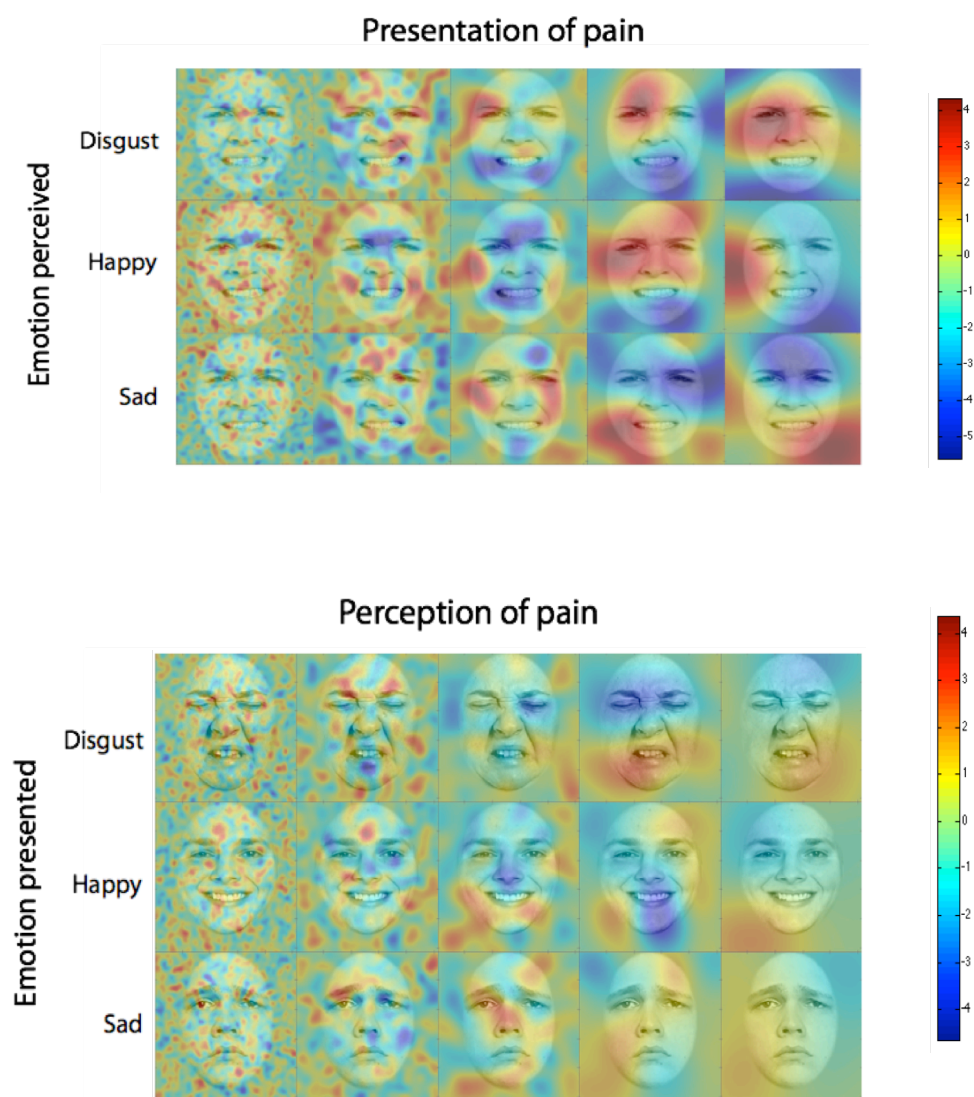
- Lundqvist, D., Esteves, F., & Ohman, A. (2004). The face of wrath: The role of features and configurations in conveying social threat. *Cognition & Emotion*, 18(2), 161-182.
- Martinkauppi, B., Soriano, M., Huovinen, S., & Laaksonen, M. (2002). *Face video database*. Paper presented at the First European Conference on Color in Graphics Imaging and Vision, Poitiers, France.
- Mehrabian, A. (1968). Communication Without Words. *Psychology Today*, 2(4), 53-56.
- O'Toole, A., Harms, J., Snow, S., Hurst, D., Pappas, M., Ayyad, J., et al. (2005). *A Video Database of Moving Faces and People*. Paper presented at the IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence.
- Pantic, M., Valstar, M., Rademaker, R., & Maat, L. (2005). *Web-based database for facial expression analysis*. Paper presented at the IEEE Int'l Conf. on Multimedia and Expo, Amsterdam, The Netherlands.
- Sato, W., Kochiyama, T., Yoshikawa, S., Naito, E., & Matsumura, M. (2004). Enhanced neural activity in response to dynamic facial expressions of emotion: an fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 20(1), 81-91.



- Smith, M., Cottrell, G., Gosselin, F., & Schyns, P. (2005). Transmitting and decoding facial expressions. *Psychological science*, 16(3), 184-189.
- Sun, Y., Sebe, N., Lew, M., & Gevers, T. (2004). Authentic Emotion Detection in Real-Time Video. In *Computer Vision in Human-Computer Interaction* (Vol. 3058, pp. 94-104): Springer Berlin / Heidelberg.
- Wallhoff, F., & [FG-NET]. (2005). Facial Expressions and Emotions Database from Technical University of Munich. from <http://www.mmk.ei.tum.de/~waf/fgnet/feedtum.html>
- Wehrle, T., Kaiser, S., Schmidt, S., & Scherer, K. (2000). Studying the Dynamics of Emotional Expression Using Synthesized Facial Muscle Movements. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(1), 105-119.
- Williams, A. C. (2002). Facial expression of pain: an evolutionary account. *Behav Brain Sci*, 25(4), 439-455; discussion 455-488.

## ANNEXE 2

Exemple d'analyse des erreurs. De gauche à droite: 42-85, 21-42, 11-21, 5-11 and 3-5 cycle par visage. *Haut*: Cartes de scores-Z pour les omissions les plus communes de la douleur : respectivement dégoût, joie, tristesse. *Bas*: Cartes de scores-Z pour les fausses alarmes des mêmes émotions.



### ANNEXE 3

Illustration de l'application de la méthode des Bulles à un stimulus dynamique. La technique est très similaire à celle utilisée avec des stimuli statiques, sauf que la décomposition de l'image en cinq bandes de fréquence doit être appliquée à chaque image composant le vidéo (chaque 33ms dans l'actuel exemple). Ici, à des fins de simplification, la division en bande de fréquences n'a pas été illustrée. Pour l'ensemble des images composant le vidéo (première rangée), un masque de bulles dynamiques est appliqué (deuxième rangée). Les bulles ont une durée temporelle qui varient en fonction de la bande de fréquences révélée.

